

Chirurgie oculaire avec injection de gaz intra-opératoire et son adéquation à la plongée en scaphandre

L'un des défis les plus importants en plongée en scaphandre réside dans la prévention des accidents liés à la présence de gaz dans l'organisme.

En effet, si les liquides présents dans l'organisme sont pratiquement incompressibles, les gaz, quant à eux, réagissent aux variations de pression dans les tissus par une augmentation ou une réduction du volume qu'ils occupent. Lors d'une hausse de la pression tissulaire, les gaz diminuent de volume et tendent à se dissoudre dans les liquides organiques.

En revanche, lors d'une baisse de la pression tissulaire, les gaz augmentent en volume et tendent à passer d'un état liquide à un état gazeux (processus de décompression) en formant des bulles. Ce processus est à l'origine de ce qu'on appelle la « maladie de décompression ». Dans des conditions normales, où trouve-t-on du gaz dans l'organisme ? Comme le savent tous les plongeurs en scaphandre, on trouve du gaz dans les poumons, les voies respiratoires, l'oreille moyenne, les sinus paranasaux, l'intestin, etc.

Toutefois, dans certaines circonstances exceptionnelles, il est possible que du gaz se retrouve dans des endroits inhabituels de l'organisme. Hormis certaines conditions pathologiques rares, la cause la plus commune de la présence inhabituelle de gaz est iatrogénique, c'est-à-dire induite par une procédure médicale. Les médecins utilisent parfois des gaz à des fins diagnostiques ou thérapeutiques. En matière diagnostique, le radiologue peut par exemple utiliser du gaz pour l'examen du colon. En matière thérapeutique, des gaz sont parfois utilisés dans certaines interventions chirurgicales. C'est le cas par exemple de certaines phases des chirurgies abdominales, gynécologiques ou ophtalmologiques.

Le cas échéant, la présence de gaz pendant la période post-opératoire peut constituer une contreindication à la plongée en scaphandre. Dans cet article, nous allons nous pencher sur l'utilisation de gaz dans les chirurgies oculaires, en particulier les chirurgies vitréorétiniennes, et sur les raisons pour lesquelles les activités de plongée sousmarine doivent être réduites après l'intervention. Par souci de clarté, nous éviterons d'utiliser des formules mathématiques et tenterons d'expliquer les concepts physiques, parfois difficiles à saisir.

Préambule

Les premières observations d'une bulle de gaz dans l'oeil d'un animal remontent à l'année 1607, lorsque Robert Boyle conçut un caisson hyperbare et y introduisit des animaux.

Il put observer une bulle de gaz dans l'oeil d'une vipère qu'il avait soumise à un processus de décompression au sein du caisson. Toutefois, il ne put expliquer exactement la façon dont la bulle s'était formée. En réalité, cette expérience peut être considérée comme le premier exemple de maladie de décompression induite en laboratoire dans l'histoire de la médecine.

L'utilisation de gaz dans la chirurgie oculaire remonte, quant à elle, au début du siècle dernier. La première tentative d'utiliser du gaz par injection intraveineuse dans le traitement d'un décollement de la rétine date de 1909. Le gaz utilisé était de l'air. Dans la seconde moitié du siècle dernier, les chirurgiens oculaires commencèrent à utiliser de l'air pour les chirurgies d'indentation sclérale pour les cas de décollement de la rétine. Par la suite, des gaz purs et des mélanges gazeux à longue durée de vie furent

utilisés, et le sont toujours aujourd'hui dans les chirurgies vitréorétiniennes, en particulier la vitrectomie et la rétinopexie pneumatique.

L'utilisation de gaz dans les chirurgies oculaires actuelles

Dans les opérations du segment antérieur de l'oeil, en particulier les opérations de la cataracte et du glaucome, le gaz utilisé est uniquement de l'air. L'utilisation de gaz dans ce type de chirurgie est néanmoins devenue assez rare de nos jours, car des substances viscoélastiques ont remplacé l'air dans la pratique chirurgicale moderne. Le rôle du gaz est de créer un espace et de séparer les structures endoculaires sur lesquelles le chirurgien doit intervenir. Comme la quantité d'air utilisée dans la cavité antérieure est très faible, le gaz est résorbé en l'espace d'un ou deux jours et ne représente aucun problème pour les personnes qui souhaitent retourner plonger une fois que la lésion post-opératoire est cicatrisée.

Il est toutefois à noter que même s'il n'y a plus de gaz dans l'oeil, il est recommandé de patienter au moins deux mois suite à l'opération avant de reprendre la plongée, afin d'éviter les infections et de prévenir les traumatismes au niveau du site de l'opération.

Dans les opérations du segment postérieur de l'oeil

La présence de gaz à longue durée de vie dans l'oeil peut représenter un risque important chez les patients qui recommencent à plonger trop rapidement. Ce type de gaz est utilisé dans les chirurgies vitréorétiniennes, en particulier dans les cas de décollement de la rétine ou de maladie maculaire. Ici, la fonction du gaz n'est pas de créer un espace ou d'aider à la visualisation des structures endo-oculaires (qui sont, au contraire, plus difficiles à identifier), mais de jouer un rôle de tamponnement. Le tamponnement désigne la pression exercée par le gaz contre la rétine pour faciliter son repositionnement lors d'un décollement de la rétine. Le décollement de rétine est une maladie rare de l'oeil qui se manifeste par une séparation de la rétine des membranes plus externes du globe oculaire avec lesquelles elle est normalement en contact. À des fins de comparaison, pour mieux comprendre ce qui se passe, imaginons que l'oeil est une pièce.

Les murs intérieurs de la pièce sont recouverts de papier peint. Une déchirure de la rétine pourrait être comparée à une déchirure du papier peint. Si le papier peint se déchire en un endroit, de l'humidité peut s'introduire et provoquer un décollement du papier sur tout le mur. Les causes d'une déchirure de la rétine peuvent résider dans un décollement vitréen postérieur, une maladie physiologique relativement fréquente chez les personnes qui dépassent un certain âge.

Sans aller trop dans le détail de ce processus complexe, cette maladie peut, dans certains cas, provoquer une déchirure de la rétine d'un degré de gravité variable. La majorité des déchirures rétiniennes ne provoquent pas un décollement de la rétine. Toutefois, la plupart de ces déchirures peuvent faire l'objet d'un traitement par laser, si le chirurgien décide qu'il existe un risque élevé de décollement de la rétine ([Voir figures 1 and 2](#)). D'autres maladies rétiniennes associées à un risque de décollement de la rétine peuvent également être traitées par laser.

Lorsque la déchirure évolue vers un décollement rétinien, un liquide se forme entre la rétine et la paroi de l'oeil, empêchant les échanges métaboliques normaux entre la rétine et la membrane choroïde, riche en vaisseaux sanguins, qui nourrit en temps normal les cellules nerveuses rétiniennes. En l'absence d'un traitement, le décollement peut s'étendre à toute la rétine et provoquer la cécité. Le but de la chirurgie du décollement de la rétine est de refermer la déchirure rétinienne et de permettre la réabsorption du liquide sous la rétine.

La fermeture de la déchirure rétinienne peut être obtenue par le biais d'une chirurgie épisclérale, qui consiste à placer un élément d'indentation (généralement fabriqué en éponge ou en caoutchouc de silicone) sur la paroi externe de l'oeil. Dans ce cas, la paroi du globe oculaire est poussée contre la rétine depuis l'extérieur, provoquant une fermeture fonctionnelle de la déchirure. La fermeture de la déchirure rétinienne peut également être obtenue depuis l'intérieur au moyen d'une opération de vitrectomie, qui consiste en une extraction du corps vitré à l'aide des instruments appropriés. Un élément de tamponnement (sous la forme d'un gaz ou un liquide) est ensuite introduit afin de pousser la rétine contre la paroi oculaire depuis l'intérieur, fermant ainsi la déchirure et permettant la réabsorption du liquide sous la rétine.

Les progrès techniques réalisés dans le domaine de la chirurgie de la déchirure rétinienne ont conduit à une hausse de l'utilisation de gaz dans les opérations. Ces dernières années, dans certains cas, les chirurgiens ont commencé à utiliser une chirurgie mini-invasive appelée rétinopexie pneumatique, qui consiste en l'injection de gaz dans l'oeil, suivie d'un traitement par laser de la déchirure rétinienne (à l'origine du décollement rétinien). Cette méthode permet de soigner un décollement rétinien sans l'usage d'instruments chirurgicaux, mais par l'injection de gaz qui pousse la rétine contre la paroi oculaire afin de la recoller. La bulle de gaz ainsi introduite tend à flotter, de telle sorte qu'elle se maintient dans la partie supérieure de l'oeil ([voir figure 2](#)).

Lorsque le patient est couché sur le dos, la bulle pousse contre le cristallin. Lorsqu'il est debout ou assis droit, la bulle de gaz comprime la rétine depuis la partie supérieure de l'oeil. Il est donc essentiel, pendant les 24 à 36 heures qui suivent l'opération, que le patient reste dans la position prescrite par le chirurgien, afin que la bulle de gaz comprime la zone exacte de déchirure de la rétine, où le décollement rétinien s'est produit. En général, le gaz introduit dans l'oeil est complètement réabsorbé par les tissus oculaires au bout d'un mois.

Durée de la présence de gaz dans l'oeil après l'opération

Les gaz demeurent pendant des périodes de temps plus ou moins longues dans l'oeil selon le type de gaz utilisé. Après injection d'air, par exemple, le volume initial de gaz reste inchangé, contrairement à d'autres gaz comme l'hexafluorure de soufre ou les perfluorocarbures, qui ont tendance à se dilater durant les premiers jours suivant l'opération, avant d'être progressivement résorbés. Lorsqu'une expansion initiale n'est pas nécessaire, le chirurgien injecte un mélange gazeux contenant de l'air plutôt qu'un gaz pur. Ce mélange est spécialement conçu pour éviter une expansion initiale de l'oeil.

Qu'il s'agisse d'un gaz pur ou d'un mélange gazeux, la résorption du gaz commence après quelques jours et s'accompagne d'une diminution du volume de la bulle présente dans le globe oculaire. Le temps total nécessaire pour la réabsorption totale de la bulle par les tissus varie en fonction du type de gaz. Le tamponnement de la rétine requiert parfois la présence d'une bulle pendant trois ou quatre semaines. Toutefois, en général, il ne faut guère plus d'un mois pour qu'un gaz, quel qu'il soit, soit réabsorbé par les tissus oculaires.

Pression intra-oculaire

La pression intra-oculaire est généralement mesurée par un ophtalmologue à l'aide d'un instrument appelé tonomètre. La pression intra-oculaire (qu'il serait plus précis d'appeler pression intra-oculaire relative), est la différence entre la pression absolue à l'intérieur de l'oeil et la pression absolue de l'air dans l'atmosphère. Une pression comprise entre 10 et 20 mm de mercure (Hg) est considérée comme normale. Cela signifie que la pression absolue à l'intérieur de l'oeil est généralement de 10 à 20 mm Hg supérieure à la pression atmosphérique absolue.

Lorsque du gaz est injecté dans l'oeil dans le cadre d'une intervention chirurgicale, il se produit une augmentation de la pression intra-oculaire pendant quelques heures. La pression se stabilise ensuite avant de revenir à 10-20 mm Hg, via un processus lent d'échange gazeux entre la bulle et les tissus oculaires. Comme nous allons bientôt le voir, lorsqu'une bulle gazeuse est présente dans l'oeil, des changements rapides de la pression externe (par exemple lors d'une plongée ou d'un vol aérien) compensent les variations de pression intra-oculaire. Le cas échéant, la bulle de gaz intra-oculaire ne peut pas être absorbée par les tissus suffisamment rapidement. Comme décrit plus haut, la pression intraoculaire équivaut à la différence entre la pression interne absolue et la pression externe. Par conséquent, si la pression externe diminue, comme lors d'un vol en avion, la pression intra-oculaire augmente.

De même, si la pression externe augmente, comme lors d'une plongée sous-marine, la pression intraoculaire diminue. Une augmentation de la pression intra-oculaire est dangereuse car les bulles gazeuses peuvent provoquer des dommages au niveau de la structure intra-oculaire en augmentant de volume. Une diminution de la pression intra-oculaire est également dangereuse car elle provoque une compression des tissus périoculaires du globe oculaire (qui, en conséquence, se ramollissent).

Gaz intra-oculaire et plongée sous-marine

Voyons à présent ce qu'il se passe lors d'une plongée sans protection oculaire, ou avec des lentilles de contact mais sans masque de plongée. Pendant la descente sous l'eau, la pression externe de l'eau est transmise aux tissus oculaires. Dans ce cas, la pression externe de l'eau correspond à la pression interne dans toutes les parties de l'oeil.

La pression intra-oculaire (relative) telle que décrite précédemment tend à rester stable, mais la pression intra-oculaire absolue augmente en comparaison avec la pression qui s'exerce à la surface de l'eau. L'atmosphère hyperbare engendre une diminution du volume de la bulle de gaz graduellement introduite dans l'oeil avant la plongée, qui provoque à son tour un collapsus de la paroi oculaire, s'accompagnant de dommages potentiels au niveau des structures endo-oculaires.

En réalité, les plongeurs en scaphandre portent un masque rempli d'air. Cette bulle d'air présente dans le masque rend difficile le calcul de la pression. L'interface entre l'air et le visage du plongeur est le point critique auquel il se produit un gradient de pression. Si la pression au sein du masque n'est pas augmentée par une manoeuvre de compensation telle qu'utilisée par les plongeurs, cette pression devient inférieure à la pression à l'extérieur de l'eau. Il en résulte un effet de succion, appelé « effet de ventouse ». Les tissus des yeux et du visage, soumis à une pression supérieure à celle dans le masque, sont aspirés vers l'intérieur du masque.

Ce phénomène, connu sous le nom d'effet de ventouse dans le monde de la plongée sous-marine, provoque une déformation et un déplacement des tissus oculaires vers l'intérieur du masque, accompagnés d'un oedème des tissus et parfois d'une hémorragie. En fait, lors de la descente sous l'eau, la différence de pression entre les vaisseaux sanguins et les tissus interstitiels et l'air contenu dans le masque augmente considérablement par rapport à la différence qui existe lorsque le plongeur se trouve au niveau de la surface de l'eau.

Ainsi, lorsque la pression dans le masque n'est pas compensée correctement, il peut se produire des dommages dans la région oculaire, accompagnés de douleurs et d'hémorragies sous-conjonctivales (écoulement sanguin dans le blanc de l'oeil). Heureusement, ce type d'incident est rare. Pour un plongeur sous-marin qui présente une bulle de gaz dans l'oeil, si la pression à l'intérieur du masque est la même que la pression externe de l'eau, la bulle de gaz endo-oculaire, comme décrit dans le cas des yeux non protégés sous l'eau, réduit en volume et peut provoquer un collapsus oculaire.

Des variations de pression à l'intérieur du masque, ou dans l'eau, peuvent provoquer des variations du volume de gaz dans l'oeil. Dans le cas d'un effet de ventouse, la pression inférieure dans le masque par rapport à la pression de l'eau (et donc de l'oeil) peut provoquer une augmentation du volume de la bulle de gaz intra-oculaire. Cette augmentation peut engendrer une dilatation du globe oculaire et un déplacement vers l'avant du cristallin et d'autres structures oculaires. Le contraire n'est toutefois pas possible puisque la pression à l'intérieur du masque, lorsqu'elle est supérieure à celle de l'eau (et donc à celle de l'oeil), provoque une fuite d'air hors du masque et donc un rééquilibrage de la pression à l'intérieur du masque par rapport à la pression extérieure.

À la lumière de ces phénomènes physiques et physiologiques, il est recommandé d'éviter de plonger tant qu'il reste du gaz dans l'oeil suite à une intervention chirurgicale. Cette recommandation figure également sur la feuille de consigne des fabricants de bombonnes de gaz utilisées pendant la chirurgie.

Gaz intra-oculaire et vol aérien

Les plongeurs sous-marins parcourent souvent de longues distances pour atteindre des sites de plongée reculés. Il est dangereux de prendre l'avion si l'oeil contient du gaz. La pression de l'air dans la cabine des avions est généralement identique à la pression atmosphérique dans la montagne à 1 500 mètres d'altitude.

La pression intra-oculaire absolue, telle que définie précédemment, tend à rester stable. Mais la pression relative (c'est-à-dire comparée avec la pression extérieure) augmente par rapport à la pression au niveau de l'aéroport duquel l'avion a décollé (si celui-ci se trouve à moins de 1 500 mètres d'altitude, bien sûr). Pendant le vol en avion, il se produit dès lors une expansion de la bulle de gaz injectée dans l'oeil à pression ambiante (dans la salle d'opération), c'est-à-dire à une pression atmosphérique généralement proche de celle au niveau de la mer. Cette expansion de la bulle peut provoquer des dommages intra-oculaires, tels qu'un déplacement et une compression des tissus intra-oculaires. Il est donc déconseillé de prendre l'avion lorsque l'oeil contient une bulle de gaz.

Adaptabilité à la plongée sous-marine

Traitement au laser pour les déchirures rétinienne.

Les plongeurs demandent souvent des informations supplémentaires sur cette intervention. Dans certains cas, elle implique l'injection de gaz (rétinopexie pneumatique). Nous aborderons ce cas plus loin. Dans la plupart des cas, cependant, elle ne requiert pas l'introduction de gaz dans l'oeil.




Il s'agit d'un traitement prophylactique destiné à prévenir l'apparition d'un décollement de la rétine. Dans certains cas, une déchirure mineure localisée peut être soudée à l'aide d'un traitement au laser afin d'empêcher que la déchirure ne s'étende à d'autres parties de la rétine.

Dans certaines chirurgies de décollement rétinien, un traitement au laser est réalisé après le rattachement de la rétine à l'aide de techniques épiscclérales ou endo-oculaires (vitrectomie ou rétinopexie pneumatique). Dans tous les cas, un traitement au laser implique une brûlure microscopique de la rétine, dont la cicatrisation empêche l'infiltration de liquide du corps vitreux vers la zone située sous la rétine. Il n'existe pas de contre-indication à la plongée sous-marine suite à un traitement au laser d'une déchirure ou dégénération rétinienne sans décollement rétinien s'il n'y a pas eu d'injection de gaz dans l'oeil. Il va de soi que le patient doit éviter tout traumatisme oculaire et tout effort physique durant environ trois semaines après l'intervention, jusqu'à disparition de la cicatrice rétinienne. Il devra également éviter l'effet de ventouse lors des plongées.

Opérations de la cataracte, rétinopexie pneumatique, vitrectomie ou chirurgie épiscclérale en

cas de déchirure rétinienne.

Par mesure préventive, il est conseillé d'éviter de plonger et de prendre l'avion pendant environ deux mois suite à ces interventions chirurgicales. Cette durée de convalescence permet de s'assurer de la réabsorption totale du gaz utilisé pendant l'intervention dans les tissus oculaires. L'ophtalmologue pourra autoriser la plongée sous-marine et les voyages aériens plus tôt si l'intervention n'a pas impliqué d'injection de gaz, ou si l'ophtalmologue peut confirmer, après examen, que le globe oculaire ne contient plus de gaz et que la lésion est totalement cicatrisée.

Fig. 1	Fig. 2	Fig. 3
		

Remerciements

Nous aimerions adresser des remerciements spéciaux à Diego Dick, à Giorgio Orlandelli et au docteur Paolo Perosa du centre de plongée Cala Lunga de La Maddalena, en Italie.