

BULLETIN de MEDECINE SUBAQUATIQUE et HYPERBARE



**2023. Tome 33.
Numéro 1**

**Société de physiologie et de médecine subaquatiques
et hyperbares de langue française**



REVUE SEMESTRIELLE

Date de publication : septembre 2023

**SOCIETE DE PHYSIOLOGIE ET DE MEDECINE
SUBAQUATIQUES ET HYPERBARES
DE LANGUE FRANCAISE**

Déclarée le 24 Décembre 1968

J.O. du 11 Janvier 1969

PRESIDENTS HONORAIRES

Pr. J.DOR (1969-1972)
Pr. A. APPAIX (1972-1976)
Dr. R. RISPE (1976-1979)
Dr. B. BROUSSOLLE (1979-1982)
Pr. J. CORRIOL (1982-1985)
Pr. Ph. OHRESSER (1985-1988)

Dr. Ph. CAVENEL (1988-1991)
Dr. J.C. ROSTAIN (1991-1994)
Pr. F. WATTEL (1994-1997)
Pr J.M. SAINTY (1997-2000)
Dr J.L. MELIET (2000-2003)

PRESIDENTS NON HONORAIRES

Dr. B. GRANDJEAN (2003-2006)
Dr. A. BARTHELEMY (2006-2009)
Pr. D. MATHIEU (2009-2013)

Dr. J.E. BLATTEAU (2013-2016)
Pr. J. REGNARD (2016-2019)

BUREAU DE LA SOCIETE EN 2022

Président: COULANGE, M
Vice Présidents : GEMPP, E.
 LOUGE, P.
Secrétaire général : RIU POULENC, B
Secrétaire adjoint : JOFFRE, T
Trésorier : COURAUD, F.
Trésorier adjoint : PARMENTIER, E.

Administrateurs : ALBERTNI J-J.
 BLATTEAU, J-E.
 CARRARO, J-C.
 D'ANDREA, C.
 LACHAIZE, A.
 LUIS, D.
 PIGNEL, R.
 POUSSARD, J.

.CONSEIL SCIENTIFIQUE

Coordinateur : MELIET, J.L.
Conseillers : BOET, S.
 CASTAGNA, O.
 DUCASSE, J-L.
 LETELLIER, P.
 ROSTAIN, J.C.
 WILLEM, C.
Membres de droit COULANGE, M.
 Président

BLATTEAU, J-E.
DEMAISTRE, S.
GUERERO, F.
LUCIANI, M.
WENDLING, J.

REGNARD J.
Président sortant

Secrétariat : Dr. RIU POULENC, B.
secretaire@medsubhyp.fr

BULLETIN de MEDECINE SUBAQUATIQUE et HYPERBARE
2023. Tome 33 Numéro 1.

Dépôt légal : 4 mai 2023
3448 6781®

ISSN 1248 - 2846

Responsable de la rédaction
B. Riu

Directeur de la publication
J.C. Rostain

Imprimeur
Pronto Offset/Sud Graphic, 22 Chem. St Jean du Désert, 13005 Marseille

Editeur
Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares
de langue française
Centre Hyperbare, CHU de Sainte Marguerite
270 Bd de Ste Marguerite
13274 Marseille cedex 09

Date de publication : septembre 2023

TABLE DE CONVERSION DES UNITES DE PRESSION

L'unité de mesure de la pression définie par le système international des unités de mesure est le Pascal (Pa). Cependant si le sujet de l'article rend l'utilisation du Pascal inappropriée, les unités telles que ATA, atm, bar, mmHg, mètres d'eau de mer sont acceptées à condition de mettre entre parenthèses la conversion en Pa, hPa, kPa ou MPa lors de la première apparition dans le texte.

1 atm = 1,013250 bar	1 bar = 100 000 Pa
1 atm = 10,13 m	1 bar = 100,000 kPa
1 atm = 101,3250 kPa	1 MPa = 10,000 bar
1 bar = 10 m	1 m = 75,01 torr
1 atm = 14,6959 psi	1 bar = 750,064 torr
1 m = 10,00 kPa	1 psi = 6 894,76 Pa
1 atm = 760,00 torr	1 torr = 133,322 Pa
1 m = 1,450 psi	1 bar = 760 mmHG

Extrait de : Standard Practice for Use of the International System of Units (SI). Doc. E380-89a. Phila., PA: Am. Soc. for Testing and Materials, 1989.

EFFETS DU CO₂ SUR LA SURVENUE DES ACCIDENTS DE DESATURATION. REVUE DE LA LITTERATURE.

L. DAUBRESSE¹, N. VALLEE², A. DRUELLE¹, J. MORIN¹, R. ROFFI¹, O. CASTAGNA², R. GUIEU³, JE BLATTEAU¹. ¹Service de médecine hyperbare et d'expertise plongée de l'HIA Sainte-Anne, BP 600 - 83800 Toulon Cedex 9. ²Équipe de recherche opérationnelle sous-marine résidente (ERRSO), Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA), 83800 Toulon armées, France. ³Centre de recherche cardio-vasculaire et nutritionnelle, INSERM, INRAE, Aix-Marseille Université, 13005 Marseille, France.

Auteur correspondant : luciledaubresse@hotmail.fr

ABSTRACT

Effects of CO₂ on the occurrence of decompression sickness. Review of the literature. L Daubresse, N Vallee, A Druelle, J Morin, R Roffi, O Castagna, R Guieu, JE Blatteau. Bull. MEDSUBHYP. 2023, 33 (1): 1-12.

Introduction: Inhalation of high concentrations of CO₂ at atmospheric pressure can be toxic with dose-dependent effects on the cardio-respiratory system or the central nervous system. Exposure to both hyperbaric and hypobaric environments may lead to decompression sickness (DCS). The effects of CO₂ on the occurrence of these accidents are not well documented and the existing studies results remain conflicting.

This study aimed at reviewing the literature in order to clarify the effects of CO₂ inhalation on DCS occurrence in the context of hypo or hyperbaric exposure.

Method: The systematic review included experimental animal and human studies assessing the impact of CO₂ on bubble formation, denitrogenation or the occurrence of DCS in hyper- and hypobaric conditions. The article search was based on MEDLINE and PubMed articles with no language or time restrictions and also included articles from the underwater and aviation medicine literature.

Results: Out of 39 articles, only 8 were retained and classified according to the criteria of hypo or hyperbaric exposure, taking into account the period of inhalation of CO₂ in relation to the exposure and distinguishing experimental work from studies carried out in humans.

Conclusion: Before or during a stay in hypobaric conditions, exposure to high partial pressures of CO₂ favours the formation of bubbles and the occurrence of DCS. In hyperbaric conditions, exposure to high partial pressures of CO₂ increases the occurrence of DCS when the exposure occurs during the bottom phase at maximum pressure, while beneficial effects (reduced bubble formation and improved denitrogenation) are observed when the exposure occurs during decompression. These opposite effects depending on the period of exposure could be related to 1) the physical properties of CO₂, a highly diffusible gas which can influence bubble formation, 2) vasomotor effects (cerebral vasodilation), 3) ventilatory effects (hyperventilation) and 4) anti-inflammatory effects (kinase-nuclear factor and heme oxygenase-1 pathways) mediated by acidosis. Using O₂-CO₂ breathing mixtures during dive decompression might be an interesting way to prevent DCS.

KEY WORDS

carbon dioxide, hypercapnia, diving, bubbles, decompression sickness, hyperbaric hypobaric.

INTRODUCTION

A la pression atmosphérique, l'inhalation de CO₂ peut rapidement devenir toxique en fonction de sa concentration dans le gaz respiré. Dans l'air ambiant, la concentration de CO₂ est d'environ 400 ppm [0,4 hPa à la pression atmosphérique (PA)]. Dès 2000 ppm soit 0,2 % de CO₂ (2 hPa à PA) des manifestations cliniques peuvent apparaître avec des céphalées, un essoufflement ou une tachycardie. Pour de fortes concentrations, autour des 10 000 ppm, soit 1 % (10 hPa à PA) des troubles de la conscience peuvent survenir. Pour ces raisons, la valeur limite européenne à ne pas dépasser en médecine du travail est une exposition maximale à 5 000 ppm (5 hPa à PA) pour 8 h par jour (Louis 1999).

Par ailleurs différents travaux ont mis en évidence une corrélation entre les troubles de l'attention et la concentration de CO₂ dans l'environnement (Kranaukas et coll., 2020). L'étude de Sayers qui s'est intéressé aux effets du CO₂ sur les performances mentales décrit des troubles de l'humeur avec irritabilité ainsi que des temps de raisonnement allongés au cours de l'exposition à de fortes concentrations de CO₂ (Sayers et coll., 1987). Des effets cognitifs sont également décrits pour de plus faibles concentrations : Satish a ainsi constaté des troubles de la concentration et une baisse des performances cognitives dès 1 000 ppm (1 hPa à PA) de CO₂ dans une pièce de travail, avec majoration des signes à 2 500 ppm (2,5 hPa à PA) (Satish et coll., 2012).

Qu'elle soit d'origine exogène ou endogène, l'hypercapnie est définie comme une pression artérielle de CO₂ (PaCO₂) supérieure à 45 mmHg (60 hPa).

Cette situation met en jeu une régulation qui passe par l'activation des chémorécepteurs carotidiens (hyperventilation) et des systèmes tampon (régulation du pH sanguin).

Lors d'une exposition hyperbare, l'augmentation de la pression partielle inhalée de CO₂ (PiCO₂) peut provoquer une hypercapnie qui peut être à l'origine d'un accident de plongée de type *toxique* avec des symptômes respiratoires liés à l'augmentation du travail ventilatoire associée à une dyspnée et des céphalées. L'augmentation de l'amplitude et de la fréquence ventilatoire est le premier signe, dès 20 mbar de PiCO₂. Des céphalées apparaissent entre 20 à 30 hPa. L'essoufflement est incontrôlable pour 60 hPa (équivalent à une concentration de 6 % de CO₂ à PA). Au-delà, l'insuffisance respiratoire aigüe s'aggrave, conduisant à la perte de connaissance hypoxique brutale par hypoventilation alvéolaire. En immersion, cette perte de connaissance peut être fatale. De plus, tous les sujets ne perçoivent pas l'apparition de l'hypercapnie et peuvent se trouver en état d'acuité cognitive et décisionnelle diminuée sans signe prémonitoire (Shykoff et coll. 2012, Warkander et coll. 2014).

L'hypercapnie peut également engendrer une perte de connaissance en plongée, notamment lors de l'utilisation d'appareils recycleurs de gaz. Dans certaines circonstances, cela peut être dû à un défaut d'épuration du CO₂ par la chaux sodée ou à une production endogène de CO₂ lors d'un effort soutenu. L'hypercapnie semble être l'accident biochimique le plus fréquent avec les recycleurs militaires. Une étude sur 30 ans d'utilisation de recycleurs dans la Marine nationale française identifie 68 % d'accidents toxiques dont 60 % sont liés à une hypercapnie (Gempp et coll. 2011).

Par ailleurs, il a été montré que l'hypercapnie favorisait le pouvoir narcotique de l'azote (Hesser et coll. 1971). Les symptômes de la narcose allant jusqu'à la perte de connaissance sont en effet majorés par la réalisation d'un effort physique avec hypercapnie (Lamphier, 1988). Il a également été mis en évidence que l'hypercapnie pouvait favoriser la toxicité neurologique de l'oxygène, avec l'observation de crises convulsives hyperoxiques survenant chez des nageurs de combat utilisant des appareils à circuit fermé à l'oxygène. Il s'agissait en majorité de plongées de longues durées avec effort de palmage soutenu entraînant une production endogène de CO₂

associée à une baisse de capacité d'épuration de la chaux sodée (Arieli et Moskovitz, 2001 ; Eyan et coll. 2003 ; Gempp et coll. 2011). Cet effet potentialisateur serait en partie médié par l'action vasodilatatrice du CO₂ sur les artères cérébrales (Schmetterer et coll. 1997).

La plongée sous-marine expose également le plongeur en scaphandre à un risque d'accident de désaturation par dégazage bullaire excessif dans le sang et les tissus de l'organisme saturés en gaz diluants lors de la décompression. L'élévation du taux de CO₂ dans l'air ou le mélange respiré lors d'une exposition subaquatique ou hyperbare pourrait également favoriser ce type d'accident. En effet le CO₂ semble jouer un rôle important dans la naissance et la croissance des bulles (Ischiyama 1983, Camporesi et Bosco, 2003).

Il s'avère que le risque accru d'accident de désaturation est assez peu documenté et ne semble concerner que la situation d'une exposition au CO₂ pendant le séjour au fond (Mano et coll. 1978). En revanche, des effets différents voire opposés sont observés lorsque l'exposition au CO₂ survient pendant la phase de décompression (Margaria et coll. 1950). Devant la présence de ces résultats divergents, il nous est apparu important de reprendre l'ensemble des études publiées sur le sujet.

L'objectif de cette étude était de préciser l'effet de l'inhalation de CO₂ sur la survenue des accidents de désaturation en fonction de la période d'inhalation et de la PiCO₂ lors d'une exposition hypo ou hyperbare. Nous avons considéré comme faibles les PiCO₂ < 1 hPa et élevées les PiCO₂ ≥ 1 hPa.

Cette étude ne concernait pas les problématiques d'hypercapnie par production endogène de CO₂ à l'effort.

MATERIEL ET METHODE

Critères d'inclusion

Nous avons pris en compte toutes les études expérimentales chez l'animal et chez l'homme ainsi que les études humaines descriptives réalisées en hyper ou hypobarie qui évaluaient l'impact du CO₂ sur la formation des bulles, la dénitrégation ou la survenue d'accidents de désaturation.

Les moteurs de recherche MEDLINE et PubMed ont été utilisés avec les mots clé suivants : *carbon dioxide, nitrogen, decompression sickness, decompression illness, bubble formation, denitrogenation.*

Nous n'avons pas inclus de limite de date de publication ou de langue dans la recherche bibliographique.

Nous avons également intégré des documents issus d'ouvrage spécialisés en médecine subaquatique et hyperbare et en médecine aéronautique ainsi que des documents d'archives issus de sites spécialisés.

RESULTATS

Sélection des articles

39 articles ont été identifiés sur la base des critères d'inclusion dont 28 issus de MEDLINE ou Pubmed et 11 d'autres sources. 30 articles ne correspondant pas directement à la problématique étudiée ont été exclus. Au total, 8 articles font l'objet de la revue présentée dans ce document.

Les 8 articles retenus ont été classés selon les critères d'exposition hypo ou hyperbare, en prenant en compte la période d'inhalation du CO₂ par rapport à l'exposition et en distinguant les études animales des études réalisées chez l'homme (Tableau 1).

PRESENTATION DES ETUDES

Etudes lors d'expositions hypobares

Influence de l'inhalation d'une PiCO₂ élevée avant une exposition hypobare chez l'animal

En 1944, Harris et coll. ont réalisé plusieurs études sur modèle animal en exposant des grenouilles à des dépressurisations rapides (2 à 10 minutes) à des altitudes simulées de 10 000 à 70 000 pieds (soit 3 048 m à 21 336 m) pendant 30 minutes (Harris et coll. 1944). Au retour à la pression atmosphérique, le nombre de bulles formées a été analysé par une méthode de prélèvement des vaisseaux veineux. Ces expérimentations ont permis de déterminer les altitudes de dépressurisations ainsi que les intensités de stimulation musculaire nécessaires pour observer la formation de bulles chez ces animaux.

Par la suite, ils ont été soumis des pressions partielles très élevées de CO₂ inhalé comprises entre 250 et 700

Type d'exposition	Effets étudiés	Nom de l'auteur et année	Type d'étude
Exposition hypobare	<i>Influence de l'inhalation de CO₂ avant une exposition hypobare</i>	Harris et coll. 1945	animale
		Andicochea et coll. 2019	chez l'homme
	<i>Influence de l'inhalation de CO₂ avant et pendant une exposition hypobare</i>	Hill et coll. 1994	animale
		Katuntsev et coll. 1994	chez l'homme
Exposition hyperbare	<i>Influence du CO₂ sur la formation des bulles</i>	Ischiyama 1983	animale
	<i>Effets de l'inhalation de CO₂ pendant l'exposition hyperbare</i>	Mano et coll. 1978	chez l'homme
	<i>Effets de l'inhalation de CO₂ pendant la décompression</i>	Margarita et coll. 1950	chez l'homme
		Bell et coll. 1986	chez l'homme
	<i>Effets de l'inhalation de CO₂ pendant l'exposition hyperbare et juste avant la décompression</i>	Huang et coll. 2018	animale

Tableau I : Etudes décrivant des effets de l'inhalation de CO₂ sur la décompression.

hPa pendant 1 h 30 et jusqu'à 4 heures avant la dépressurisation.

Les auteurs ont montré que l'altitude simulée nécessaire pour engendrer la formation de bulles est moindre lorsque les animaux ont au préalable inhalé des $PiCO_2$ élevées. De plus, l'exposition préalable au CO_2 réduit également l'intensité de la stimulation musculaire nécessaire pour observer la formation de bulles.

Influence de pressions partielles de CO_2 élevées avant et pendant une exposition hypobare chez l'animal

Hill et coll. ont réalisé en 1994 une étude animale exposant de manière répétée sept chèvres à des dépressurisations à des altitudes équivalentes de 1 500 à 10 400 mètres, pendant 30 minutes (Hill et coll. 1994). La vitesse de dépressurisation était de 190 hPa/min. Le protocole prévoyait l'inhalation de mélanges $O_2 - CO_2$ avant et pendant l'exposition hypobare. Avant l'exposition, les mélanges respirés durant 15 min avaient une pression partielle de 0 à 46 mmHg (61,3 hPa) de CO_2 . Pendant toute l'exposition, la $PiCO_2$ était comprise entre 0 et 30 mmHg (40 hPa). Le risque de survenue d'accident de désaturation a été évalué par la mesure de bulles circulantes précordiales durant l'exposition hypobare.

L'élévation des pressions partielles inspirées de CO_2 avant et pendant l'exposition hypobare ne modifie pas sensiblement le nombre de bulles circulantes. Selon les auteurs, ce résultat négatif est peut-être lié à un effectif insuffisant ou à des durées trop courtes d'expositions au CO_2 avant la dépressurisation.

Influence de faibles pressions partielles de CO_2 avant une exposition hypobare chez l'homme

En 2019, Andicochea rapporte des symptômes d'altération cognitive évocateurs d'accidents de décompression cérébraux d'altitude chez six aviateurs de l'armée américaine (Andicochea, 2019). Les manifestations sont survenues à de hautes altitudes de 30 000 à 41 000 pieds (9 144 m à 12 200 m) avec lors de dépressurisations rapides. Sur neuf pilotes qui ont présenté ces accidents, six ont eu des troubles cognitifs comprenant un état confusionnel, des difficultés de concentration, une impression de ralentissement psychique, ainsi que des paresthésies des membres. Parmi les six pilotes symptomatiques quatre ont bénéficié d'un traitement en caisson hyperbare. Les six pilotes symptomatiques avaient été exposés plusieurs heures avant le vol à une pression partielle un peu haute de CO_2 (900 ppm en moyenne, soit 0,9 hPa) dans leur salle de briefing mal ventilée.

Les trois autres pilotes qui avaient suivi le briefing dans une pièce mieux ventilée (560 ppm en moyenne, de CO_2 , soit 0,56 hPa) n'ont pas eu de symptômes.

L'inhalation prolongée de 1 000 ppm de CO_2 (1 hPa) avant une montée en altitude rapide pourrait selon les auteurs favoriser la survenue d'accidents de décompression cérébraux d'altitude.

Influence de l'inhalation de pressions partielles élevées de CO_2 avant et pendant une exposition hypobare chez l'homme

Katuntsev et coll. ont évalué l'effet du CO_2 sur la survenue des accidents de désaturation lors d'expositions hypobares qui simulaient des protocoles de sorties extra véhiculaires (Katuntsev et coll. 1994). Quarante-six hommes volontaires sains ont été exposés à des altitudes simulées de 21 325 à 26 574 pieds (6 500 à 8 100 m) pendant 6 h au maximum. Lors de l'exposition hypobare, les sujets réalisaient un effort physique intermittent calibré. Ils respiraient un mélange O_2 97 % - CO_2 3 % pendant les deux heures qui précédaient la dépressurisation ($PiCO_2 = 30$ hPa) et pendant l'exposition hypobare ($PiCO_2 = 13,2$ à $10,5$ hPa selon les pressions de l'atmosphère standard). Un total de 106 expositions expérimentales a été réalisé sous $O_2 - CO_2$ à 3 % contre 101 expositions contrôles sous O_2 uniquement. Chez les sujets inhalant le mélange enrichi en CO_2 il a été observé une diminution des valeurs moyennes du pH sanguin de 7,40 à 7,37 et une augmentation de la $PaCO_2$ de 39,5 à 43,7 mmHg (52,6 à 58,2 hPa).

Il est survenu plus d'accidents de désaturation articulaires dans le groupe exposé au CO_2 avant et pendant la dépressurisation : 67,9 % que dans le groupe contrôle : 32,7 %.

Etudes lors d'expositions hyperbares :

Influence de l'inhalation de pressions partielles élevées de CO_2 pendant une exposition hyperbare chez l'homme

L'étude réalisée par Mano et d'Arrigo en 1978 est une étude descriptive rétrospective à propos de 84 tunneliers employés pendant cinq mois à la construction du métro de la baie de Tokyo (Mano et d'Arrigo, 1978).

Les accidents de désaturation sont survenus pour des pressions supérieures à 2,7 ATA et des durées de travail de 5 h 30 à 6 h maximum.

Au début du chantier, les chambres de travail n'étaient pas ventilées. Pour des pressions comprises entre 3 et 3,2 ATA, le taux de CO_2 ambiant était compris entre 1,8 et 2,3 % ($PiCO_2$ 54 à 173 hPa). Pour 2 430

expositions réalisées dans ces conditions, il y a eu 74 accidents de désaturation articulaires (90 % avec atteintes des genoux) soit une incidence de 3,05 %.

A la fin du chantier, les chambres étaient ventilées, la concentration ambiante de CO₂ était alors comprise entre 0,3 et 0,9 % (PiCO₂ 9 à 92 hPa). Pour 3 951 expositions dans cette atmosphère, 38 accidents articulaires ont été déclarés soit une incidence de 0,96 % (Tableau II).

La décompression et les conditions thermiques étaient comparables sur l'ensemble du chantier.

Aucun symptôme clinique n'était décrit durant l'étude. Le pH restait stable et on observait une augmentation du débit ventilatoire des sujets exposés au mélange O₂/CO₂.

Pour les auteurs, après exposition hyperbare il y a un réel intérêt à respirer, à pression atmosphérique, un mélange enrichi à 5 % de CO₂ avec 95 % d'O₂ pour augmenter l'élimination d'azote, dans le but de diminuer la survenue d'un accident de désaturation.

L'étude de Bell et coll., publiée en 1986, est une étude prospective réalisée sur 65 plongeurs volontaires sains

Pressions	PiCO ₂	Expositions (nb)	DCS (nb, %)
3 à 3,4 ATA	60 hPa	2430	74 soit 3,05%
	15 hPa	3951	38 soit 0,96%

Tableau II : Nombre d'accidents de décompression articulaires en fonction de l'exposition au CO₂ (Mano et d'Arrigo, 1978).

Les auteurs mettent en avant l'augmentation du risque d'accidents de désaturation en fonction du taux de CO₂ en ambiance hyperbare.

Influence de l'inhalation de pressions partielles élevées de CO₂ pendant la décompression chez l'homme

En 1950, Margaria et Sendroy ont exposé quatre plongeurs hommes volontaires en ambiance hyperbare à 2 ATA pendant 4 heures avant de les décompresser à la pression atmosphérique en une minute (Margaria et Sendroy, 1950). Immédiatement après le retour à la pression atmosphérique, les plongeurs étaient assis au repos dans une chambre à 25 °C, et respiraient soit 100 % d'O₂, soit de l'O₂ avec 3 % de CO₂, soit de l'O₂ avec 5 % de CO₂. Des échantillons de gaz expirés étaient prélevés dans un sac de Douglas toutes les 10 à 15 min pour déterminer leur composition par la méthode de Van Slyke et Sendroy. Cette méthode manométrique décrite par Van Slyke en 1927 consiste à mesurer la proportion d'oxygène et de dioxyde de carbone contenu dans le mélange. Ces mesures permettaient d'extrapoler la quantité d'azote éliminée (courbe de dénitrégation) jusqu'à 2 heures après la plongée.

Les résultats font apparaître une augmentation significative de 20 % du N₂ expiré lors de l'inhalation du mélange O₂ avec 5 % de CO₂ par rapport à la respiration d'O₂ pur.

lors d'un séjour hyperbare en caisson à saturation (Bell et coll. 1986). Les plongeurs étaient soumis à une pression de 1,7 ATA ou de 1,8 ATA durant 48 heures avant d'être décompressés vers la pression atmosphérique à la vitesse de 50 hPa/min. Lors de la décompression, un groupe de 30 plongeurs respirait du Nitrox (40 % d'O₂), tandis que l'autre groupe de 35 plongeurs respirait un Nitrox à 38 % d'O₂ enrichi par 2 % de CO₂. A l'issue de la plongée, l'effet de la décompression était objectivé par la mesure répétée de bulles circulantes précordiales, évaluées au repos et après sensibilisation à l'effort, pendant les 6 heures suivant l'exposition hyperbare, et la survenue éventuelle d'un accident de désaturation dans les 24 heures était répertoriée.

Les auteurs ont observé :

- pour les 20 sujets ayant été saturés à 1,7 ATA avec et sans CO₂ : pas d'accident de désaturation (ADD) et réduction significative du degré de bulles de 40 % au repos et de 55 % après effort après respiration du mélange avec CO₂ ;

- pour les sujets ayant été saturés à 1,8 ATA : 2 ADD sur 10 sujets dans le groupe O₂-N₂ contre 2 ADD sur 15 sujets dans le groupe O₂-N₂-CO₂. Le degré de bulles circulantes a été réduit de manière non significative au repos (-3 %) et après effort (-30 %).

Pour ces auteurs, il y aurait un réel intérêt à respirer un mélange enrichi en CO₂ pendant la décompression dans le but de diminuer la formation des bulles

circulantes et par conséquent le risque de survenue d'accident de désaturation.

Effets de l'inhalation de pressions partielles élevées de CO₂ avant le début de la décompression chez l'animal

Le résumé d'une communication effectuée en 2018 par Huang et coll. décrit une étude chez l'animal étudiant l'effet de l'inhalation de pressions partielles élevées de CO₂ avant le début de la décompression sur la survenue d'un accident de désaturation (Huang et coll. 2018). Les auteurs ont exposé des rats à 6 ATA pendant une ou deux heures avec une décompression rapide en 5 min. Les rats étaient divisés en trois groupes respirant un mélange de 3 % de CO₂ (PiCO₂ = 180 hPa) et 97 % d'air soit 10, 30 ou 60 min avant le début de la décompression. Les auteurs ont ensuite analysé les lésions histologiques pulmonaires induites par la formation des bulles post décompression. Le nombre d'animaux dans chaque groupe n'est pas précisé.

La mortalité par accident de désaturation et les lésions pulmonaires de décompression étaient moindres chez les rats ayant été exposés au CO₂ pendant 10 min avant la décompression que chez ceux qui l'avaient été pendant 30 ou 60 min. Ces résultats ont été reproductibles sur l'organe isolé perfusé avec une solution contenant des bulles.

Les auteurs suggèrent, qu'une brève hypercapnie, juste avant la désaturation, aurait un effet anti-inflammatoire spécifique, et protégerait ainsi des lésions pulmonaires liées à l'accident de désaturation. L'effet protecteur du CO₂ serait lié à un effet indépendant des effets connus sur l'élimination des bulles et de l'azote, mais qui n'est pas étudié dans cette étude.

DISCUSSION

En hypobarie

Dans les études effectuées en hypobarie, le CO₂ a un effet majoritairement délétère sur le risque de survenue d'accident de décompression à haute altitude, surtout quand il est respiré avant la dépressurisation. Toutes les études humaines ou animales, consistant à respirer un air enrichi en CO₂ avant la dépressurisation conduisent au même constat : l'hypercapnie favorise l'augmentation du nombre de bulles circulantes et/ou l'apparition d'accidents de désaturation. Ces observations confirment donc que la survenue d'une hypercapnie avant la décompression favorise l'augmentation de la

formation et du volume des bulles circulantes et *de facto*, le risque d'apparition d'un accident de désaturation (Hodes et Larrabee, 1946).

Dans l'article de Katuntsev, les auteurs proposent deux hypothèses pour expliquer l'augmentation de survenue d'accidents de désaturation lors d'une hypercapnie (Katuntsev et coll. 1994).

La première est qu'une augmentation du volume des bulles enrichies par le CO₂ pourrait entraîner un encombrement des capillaires pulmonaires et retarder l'élimination de l'azote. La deuxième met en avant les effets hémodynamiques de l'hypercapnie. Le CO₂ stimule le système sympathique et donc une vasoconstriction périphérique, elle-même susceptible de ralentir l'élimination de l'azote pendant la décompression. Ces mécanismes rendraient possibles la survenue d'accidents de désaturation plus tardifs.

En revanche, on ne retient pas de mécanismes liés à une variation du pH par le CO₂. En effet, dans un organisme sans pathologie sous-jacente, la PaCO₂ est longtemps compensée par une hyperventilation et l'activité des systèmes tampons de l'organisme qui stabilisent le pH. Katuntsev et coll. n'observent pas de perturbation du pH, malgré des concentrations de CO₂ inhalé élevées. (Katuntsev et coll. 1994).

En hyperbarie

Le CO₂ respiré durant le séjour au fond a un effet délétère observé dans l'étude de Mano dans laquelle l'accidentologie de décompression était majorée lorsque les tunnels étaient mal ventilés. (Mano et d'Arrigo, 1978).

Néanmoins, les études réalisées sur volontaires sains sont en faveur d'une meilleure désaturation lorsque l'exposition à une pression partielle élevée de CO₂ a lieu en phase de décompression.

Margaria s'intéresse au possible effet potentialisateur du CO₂ sur la dénitrégation (Margaria et coll. 1950). Cette étude est la seule ayant mesurée l'élimination d'azote chez l'homme après respiration d'un mélange suroxygéné enrichi en CO₂ à l'issue de l'exposition hyperbare. Dans cette étude, la mesure de bulles circulantes n'a pas été effectuée, seul le calcul de l'azote éliminé par voie respiratoire a été pris en compte. L'approche est particulièrement intéressante car elle montre un effet bénéfique possible du CO₂ lorsque l'exposition a lieu lors de la décompression. L'adjonction de CO₂ à l'oxygène semble plus efficace que l'inhalation d'O₂ pur, ce qui pourrait permettre d'optimiser les procédures de dénitrégation actuellement fondées sur l'emploi de l'oxygène pur.

L'inhalation d'oxygène avant ou après plongée améliore l'élimination d'azote et protège contre la survenue d'évènement thrombotique en plongée (Pontier et Lambrechts, 2014 ; Castagna et coll, 2009) et est de plus en plus utilisée en plongée de loisir comme professionnelle particulièrement dans le cadre de plongées saturantes et/ou successives.

L'étude de Bell va également dans ce sens, même si les résultats ne montrent pas une diminution de l'incidence des accidents de désaturation : les auteurs ont constaté une diminution du nombre de bulles circulantes lorsque les plongeurs respirent un air enrichi en CO₂ pendant la décompression (Bell, 1986). Il importe de remarquer qu'aucun de ces auteurs ne décrit d'effets adverses lors de l'inhalation de mélanges enrichis en CO₂, en particulier des céphalées, des paresthésies, des palpitations ou une fatigue intense (INRS, 1999). L'inconfort de ces manifestations pourrait être un obstacle à l'utilisation de ces procédures de décompression.

HYPOTHESES SUR LES EFFETS DE L'INHALATION DE CO₂ A CONCENTRATION ELEVEE

Effets physiques sur les phases gazeuses

Une concentration de CO₂ dissous élevée peut augmenter la croissance des bulles et des noyaux gazeux (Gireesan et Pandit, 2017, Blatteau et coll. 2006). Une expérimentation animale japonaise a étudié la composition gazeuse des bulles de la décompression (Ishiyama, 1983). Des lapins anesthésiés étaient comprimés à l'air à 8 ATA pendant 30 min puis décomprimés à la vitesse de 3,4 ATA/min. L'analyse de la composition des bulles par chromatographie a montré que la concentration bullaire de CO₂ semblait d'abord diminuer puis progressivement augmenter alors que la concentration d'O₂ évoluait en sens inverse. L'auteur estime que la concentration bullaire de CO₂ et son évolution temporelle influencent la croissance et la formation de bulles pendant la décompression.

Effets vasomoteurs

Les effets vasomoteurs du CO₂ sont documentés (Wang et coll., 2019). En 1990, Bailliart et coll. ont mesuré des variations du débit sanguin carotidien chez des sujets sains exposés à des PiCO₂ de 30 à 50 Torr (40 à 67 hPa, Bailliart et coll. 1990). Ils observent une augmentation de 30 % du débit dans l'artère carotide primitive.

La réactivité vasculaire cérébrale à l'inhalation de CO₂ a également été étudiée par IRM sur des volontaires sains respirant un mélange O₂ 21 %, N₂ 74 %, CO₂ 5 % (PiCO₂ = 50 hPa) (Liu et coll. 2019). Une vasodilatation cérébrale survient rapidement pendant l'inhalation de CO₂ et disparaît rapidement à la fin de l'exposition.

En périphérie en revanche, une vasoconstriction semble prédominer pour des concentrations de CO₂ assez élevées. La réponse vasomotrice a été étudiée en IRM et doppler dans les muscles squelettiques des membres postérieurs de rats lorsqu'on fait inhaler aux animaux de l'air, puis un mélange d'air et de 20 % de CO₂ (PiCO₂ = 200 hPa), puis un mélange qui ne contient plus que 5 % de CO₂ (PiCO₂ = 50 hPa). Avec le premier mélange une vasoconstriction se développe en quelques minutes, tandis qu'après passage au mélange à 5 % de CO₂ la vasodilatation se développe en 5 à 10 minutes (Zakhler et coll. 2020).

Effets anti-inflammatoires

Indépendamment des effets précédemment décrits, l'inhalation de CO₂ à concentration élevée semble activer des processus anti-inflammatoires. Les travaux de Huang et coll. sur un modèle animal d'accident de décompression suggèrent un effet propre anti inflammatoire du CO₂ puisque les lésions pulmonaires sont moindres lorsque l'exposition à 3 % de CO₂ a lieu immédiatement avant (PiCO₂ = 180 hPa) et pendant la phase de décompression (Huang et coll. 2018). La même équipe a par ailleurs exploré sur d'autres modèles d'agression pulmonaire ces effets anti-inflammatoires et anti-oxydants qui seraient médiés par l'acidose hypercapnique avec activation de l'hème oxygénase-1 et inhibition de la voie kinase-facteur nucléaire (Wu et coll. 2012, 2013).

Effets ventilatoires et acido-basiques

L'équilibre acido-basique est maintenu par l'action conjuguée de la ventilation et de l'effet tampon des bicarbonates (Mannée et coll. 2018). L'organisme s'adapte à une élévation de concentration inhalée de CO₂ par l'hyperventilation (Alexander et coll. 1955, Maresch et coll. 1997). Pour des expositions à concentrations élevées (5 à 9 % à PA), les capacités de régulation de l'organisme sont dépassées et la perturbation de l'équilibre acido-basique est manifeste avec une acidose respiratoire et une hypercapnie sanguine. La gravité du déséquilibre dépend de la durée d'exposition, de la PiCO₂ ainsi que de l'état basal du sujet exposé (Permentier et coll. 2017, Van der Schrier et coll. 2022).

Effets thérapeutiques

Les propriétés thérapeutiques du CO₂ sont mises à profit sous la forme d'un gaz inhalé appelé carbogène. Composé de 95 % d'O₂ et de 5 % de CO₂, ce gaz est utilisé depuis longtemps pour soigner les surdités brusques. Le carbogène a un effet supérieur à celui de l'oxygène pur sur la vascularisation et l'oxygénation des tissus. Les mesures de PO₂ et PCO₂ réalisées au niveau de la rétine d'animaux en normobarie font apparaître une amélioration de la diffusion de l'O₂ sous carbogène. Le CO₂ favorise la libération de l'O₂ par l'hémoglobine (effet Bohr) ce qui participe à sa meilleure diffusion tissulaire. La vasodilatation induite par le CO₂ pourrait également participer à cette meilleure diffusion de l'O₂ (Pournaras, 2003 ; Rosengarten, 2003 ; Petropoulos, 2005 ; Chung, 2007).

En 2004, une étude chinoise (Ni 2004, cité par Agarwal et Pothier 2009) évaluait l'efficacité du carbogène comme vasodilatateur dans le traitement de la surdité brusque. 76,9 % des 26 patients ayant reçu du carbogène ont présenté une récupération au moins partielle de l'audition contre 50 % du groupe témoin. Le seul effet secondaire rapporté était une sensation de lourdeur de la tête chez 5 patients, cédant spontanément à l'arrêt du traitement.

Ces effets du CO₂ couplé à l'oxygène sous la forme de carbogène, pourraient avoir un intérêt dans le cadre de la prévention des accidents de décompression, dans des conditions spécifiques : respiré immédiatement après la plongée et au repos, le carbogène pourrait favoriser la dénitrégation tissulaire et l'élimination respiratoire de l'azote. Les effets anti-inflammatoires pourraient également contribuer à une meilleure tolérance du phénomène bullaire au cours de la décompression.

REPONSE INDIVIDUELLE A L'HYPERCAPNIE

Chez certains plongeurs expérimentés, particulièrement chez ceux qui utilisent un recycleur, une diminution de la sensibilité au CO₂ se développe au bout d'un certain temps de pratique. Cette tolérance à l'hypercapnie est favorisée par une hyperoxie constante et par l'adaptation à un travail ventilatoire augmenté. Elle permet de diminuer les efforts ventilatoires induits par la réponse normale à l'hypercapnie (Hyacinthe, 1983, Badier, 2006). Néanmoins, elle retarde l'apparition des signes cliniques liés à l'hypercapnie, ce qui peut amener à une situation accidentogène : Marshall a montré (1951) en exposant des souris et des grenouilles à de

fortes pressions à l'air, que la gravité de la narcose était très augmentée lorsqu'elle s'accompagnait d'une rétention de CO₂.

En 1990, Henning a exposé en normobarie des plongeurs à 6 % de CO₂ en mélange normoxique puis hyperoxique. Les plongeurs qui avaient une faible réponse ventilatoire au CO₂ étaient plus sujets à des prises de décisions altérées et à des troubles de la coordination motrice (Henning et coll, 1990). Warkander et coll. ont également observé des narcoses sévères liées à une hypercapnie élevée, sans manifestation ventilatoire (Warkander et coll. 1990).

De même, étudiant le cas de deux pertes de connaissance survenues dans l'eau, Morrison a mesuré une très faible réponse ventilatoire au CO₂ chez les deux plongeurs accidentés. (Morrison et coll. 1978).

Il s'avère donc que certains plongeurs tolèrent des concentrations sanguines de CO₂ plus élevées sans déclencher de réponse ventilatoire (désignés en langue anglaise comme « CO₂ retainers »), avec cependant une altération des fonctions cognitives. Mais à ce jour nous ne disposons pas d'éléments permettant de savoir si ces sujets ont plus de risque de développer un accident de désaturation. On peut cependant faire l'hypothèse qu'une concentration sanguine élevée de CO₂ est susceptible d'activer les noyaux gazeux et la formation de bulles (Blatteau et coll. 2006).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette revue de la littérature sur les effets de concentrations inhalées élevées de CO₂, conduit à constater que toutes les études réalisées dans un contexte d'expositions hypobares indiquent un effet délétère du CO₂ qui favorise la formation des bulles et la survenue d'accident de désaturation.

Dans le cadre d'expositions hyperbares, il apparaît que les effets sont liés à la période d'exposition. Les effets délétères surviennent lorsque l'exposition au CO₂ a lieu pendant le séjour en pression, tandis que des effets bénéfiques sont observés lorsque l'exposition a lieu pendant la décompression.

Il faut bien constater que très peu d'études ont été réalisées sur cette thématique et les études sur l'homme sont rares et anciennes.

Une seule étude concerne l'effet de faibles doses de CO₂ inhalé (< 1 %) sur des pilotes de l'armée américaine lors d'expositions hypobares. L'effet des faibles doses de CO₂ avant une exposition hyperbare n'est pas rapporté dans littérature.

Nous avons évoqué l'hypothèse d'un effet de ce type lors d'une enquête menée après une série d'accidents

de plongée neurologiques survenue en 2020 dans le centre de formation des plongeurs de l'armée française (Daubresse et coll. 2020). Devant le caractère inédit par le nombre important d'accidentés en un temps limité, et après que toute autre cause ait été éliminée, la rétention en CO₂ lié au port du masque de protection anti-covid était une des pistes évoquées car l'activation des noyaux gazeux par le CO₂ avant les plongées paraissait possible (Blatteau et coll. 2006).

Compte-tenu de l'absence de données sur ce point, il nous semble important d'explorer expérimentalement les effets d'une exposition chronique au CO₂ avant une exposition hyperbare.

De plus, l'effet bénéfique du CO₂ en phase de désaturation mis en évidence par cette revue de la littérature, mérite d'être confirmé par des travaux expérimentaux pour mieux en définir les mécanismes d'action.

L'effet de l'inhalation de mélanges enrichis en CO₂ pendant la décompression pourrait être étudié dans l'objectif d'optimiser les procédures de décompression des plongées saturantes.

REFERENCES

Agarwal L, Pothier DD. Vasodilators and vasoactive substances for idiopathic sudden sensorineural hearing loss. *Cochrane Database System Rev* 2009, (4): CD003422.

Alexander J.K., West J.R., Wood J.A., Richard D.W. - Analysis of the respiratory response to carbon dioxide inhalation in varying clinical states of hypercapnia, anoxia and acide-base derangement. *Journal of Clinical Investigation*, 1955, 34(4): 511-532.

Andicochea C, Henriques M, Fulkerson J, Jay S, Chen H, Deaton T. Elevated environmental carbon dioxide exposure confounding physiologic events in aviators? *Mil Med*. 2019, 84 : e863.

ANSES Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Effets sanitaires liés aux expositions professionnelles à des mélanges gazeux respiratoires autres que l'air dans le cadre des activités hyperbares. Avis et rapport d'expertise. Saisine n° 2013-SA-0030. ANSES, Maison-Alfort, 2014. 352 p.

Arieli R, Moskovitz Y. Humidity does not affect central nervous system oxygen toxicity. *J Appl Physiol* 2001 ; 91(3) : 1327-1333.

Arieli R, Arieli Y, Arieli M, et coll. Hypercapnia-induced acidosis in chronic obstructive pulmonary disease: mechanisms and consequences. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2017;12:3045-3052. doi:10.2147/COPD.S145360.

Badier M. Hypercapnie. In : Broussolle B, Meliet J.L., Coulange M. *Physiologie et médecine de la plongée* 2^e éd. Ellipses Edition Marketing, Paris 2006: 306 - 312.

Bailliart O, Marotte H, Normand H, Martineaud JP, Durand J. Variations du débit de la carotide primitive et de ses branches lors de modifications de la composition en O₂ et en CO₂ du gaz alvéolaire. *Arch Int Physiol Bioch*. 1990, 98: 179-192.

Bell P-Y, Harrison J-R, Page K, Summerfield M. An effect of CO₂ on the maximum safe direct decompression to 1bar from oxygen-nitrogen saturation. *Undersea Biomed Res*. 1986, 13(4); p 443-455.

Blatteau JE, Souraud JB, Gempp E, Boussuges A. Gas nuclei, their origin, and their role in bubble formation. *Aviat Space Environ Med*. 2006; 77(10): 1068-1076.

Camporesi E, Bosco G. Ventilation, Gas Exchange and Exercise Under Pressure. In : Bennett PB and Elliott DH (eds). *The Physiology and Medicine of Diving*. 5th edition. Saunders-Elsevier Science, London. 2003, p 98-114.

Castagna O, Gempp E, Blatteau JE. Pre-dive normobaric oxygen reduces bubble formation in scuba divers. *Eur J Appl Physiol*. 2009, 106(2); p 167-172.

Chung C, Linsenmeier R. Effect of carbogen (95% O₂/5% CO₂) on retinal oxygenation in dark-adapted anesthetized cats. *Curr Eye Res*. 2007, 32(7-8); p 699-707.

Daubresse L. Effets du port du masque chirurgical au repos et à l'effort sur la rétention en CO₂, conséquences pour la pratique d'activités subaquatiques et hyperbares ? Mémoire de Master II Physiologie Des Régulations. Université De Bretagne Occidentale, Brest 2021.

Daubresse L, Amara J, Grau M, De Maistre S, Cassouret G, Lehot H, Texier G, Blatteau JE. Survenue d'une série de cas inhabituels de symptômes neurologiques au décours de plongées de formation

- dans un contexte de mesures préventives liées au SarsCov2. *Bull. MEDSUBHYP* 2022; 31(2): 77-85.
- Eynan M, Daskalovic YI, Arieli Y, Arieli R, Shupak A, Eilender E, Kerem DH. Training improves divers' ability to detect increased CO₂. *Aviat Space Environ Med.* 2003; 74(5): 537-545.
- Gempp E, Louge P, Baltteau JE, Hugon M. Descriptive Epidemiology of 153 diving injuries with rebreathers among french military divers from 1979 to 2009. *Mil Med.* 2011; 176: 446-450.
- Gireesan S, Pandit AB. Modeling the effect of carbon-dioxide gas on cavitation. *Ultrason Sonochem.* 2017; 34: 721-728.
- Grimmer B, Kuebler WM. The endothelium in hypoxic pulmonary vasoconstriction. *J Appl Physiol* (1985). 2017 Dec 1;123(6):1635-1646.
- Harris M, Berg WE, Whitaker DM, Twitty VC, Blinks LR. Carbon dioxide as a facilitating agent in the initiation and growth of bubbles in animals decompressed to simulated altitudes. *J Gen Physiol.* 1945; 28 (3): 225-240.
- Henning R, Sauter S, Lanphier E, Reddan W. Behavioral effects of increased CO₂ load in divers. *Undersea Biomed Res.* 1990; 17 (2): 109-120.
- Hesser CM, Adolfson J, Fagraeus L. Role of CO₂ in compressed-air narcosis. *Aerospace Med* 1971; 42: 162-168.
- Hill R, Charles MS, Miller MS, Tucker A. Influence of Carbon Dioxide on Venous Gas Emboli production during altitude compression in goats. *Aviat Space Environ Med.* 1994; 65(2): 139-143.
- Hodes R, Larrabee M. The relation between alveolar carbon dioxide tension and susceptibility to decompression sickness. *Am J Physiol.* 1946; 147(4): 603-615.
- Huang K-L, Peng C-K, Chu S-J. Hypercapnic acidosis attenuates decompression sickness-induced lung injury. *Respirology* 2018; 23: 33-34. <https://doi.org/10.1111/resp.13419>
- Hyacinthe R, Giry P, Battesti A. effets de l'entraînement et du conditionnement ventilatoires sur le comportement respiratoire du plongeur à 46 ATA. *Bull. MEDSUBHYP.* 1983; 2(2): 9-16.
- Ishiyama A. Analysis of gas composition of intravascular bubbles produced by decompression. *Bull. tokyo Med. Dent. Univ.* 1983 ; 30 : 25-35..
- Karnauskas Kristopher B, Miller Shelly L, Schapiro Anna C. Fossil Fuel Combustion Is Driving Indoor CO₂ Toward Levels Harmful to Human Cognition. *GeoHealth,* , 2020; 4(5): e2019GH000237
- Katuntsev V, Poleshchuk P, Kazakova R. The effect of hypercapnia on the decompression sickness risk during simulated extravehicular activity. *Journal of aerospace.* 1994, Vol 103; p734-738.
- Kim YJ, Lee JH, Park YS, et coll. Effects of acute exposure to carbon dioxide on the pulmonary circulation in conscious dogs. *Korean J Physiol Pharmacol.* 2014;18(4):317-324. doi: 10.4196/kjpp.2014.18.4.317
- Lanphier EH. Carbon dioxide poisoning. In: Waite CL, ed. Case histories of diving and hyperbaric accidents. UHMS Publication No. 0-930406-12-5. Bethesda, MD: Undersea and Hyperbaric Medical Society, 1988: 199-213.
- Liu P, De Vis J, Lu H. Cerebrovascular reactivity (CRV) MRI with CO₂ challenge: a technical review. *Neuroimage.* 2019; 187: 104-114.
- Louge P, Méliet J.L. Toxicité neurologique de l'oxygène. In: Broussolle B, Meliet J.L, Coulange M (éds). *Physiologie et médecine de la plongée 2^e éd.* Ellipses Editions Marketing, Paris: 2006 ; 283 - 294.
- Louis F, Guez M, Le Bacle C. Intoxication par inhalation de dioxyde de carbone. Dossier médico-technique 79TC74. INRS, Documents pour le médecin du travail 1999;79:179-194. <https://www.inrs.fr/publications/mediatheque.html> [24 avril 2023].
- Mannée DC, Fabius TM, Wagenaar M, Eijsvogel MMM, De Jongh FHC. Reproducibility of hypercapnic ventilatory response measurements with steady-state and rebreathing methods. *ERJ Open Res.* 2018; 4(1): 00141-2017.
- Mano Y, D'Arrigo J. Relationship between CO₂ levels and decompression sickness: implications for

- disease prevention. *Aviat Space Environ Med.* 1978; 49(2); 349-354.
- Maresh CM, Armstrong, LE Kavouras, SA, Allen GJ, Casa DJ, Whittlesey M, LaGasse KE. Physiological and Psychological Effects Associated with High Carbon Dioxide Levels in Healthy Men. *Aviation Space Environ Med.* 1997; 68(1): 41-45.
- Matz CJ, Stieb DM, Davis K, Egyed M, Rose A, Chou B, Brion O. (2014) Effects of age, season, gender and urban-rural status on time activity: Canadian human activity pattern survey 2. *Int Environ Res Public Health.* 2014; 11(2): 2108-2124.
- Margaria R, Sendroy J. Effects of CO₂ on rate of denitrogenation on human subjects. *J Appl. Physiol.* 1950; 3 (6): 295-308.
- Marshall JM. Nitrogen narcosis in frog and mice. *Am J Physiol.* 1951; 166(3): 699-711.
- Morrison J, Florio J, Butt W. Observations after loss of consciousness under water. *Undersea Biomed Res.* 1978, Vol 5(2); p179-187.
- Nishi RY, Brubakk AO, Eftedal OS. Bubble detection. In: Brubakk AO, Neuman TS (eds). *The Bennett and Elliot's physiology and medicine of diving.* 5th ed.: Saunders-Elsevier Science, London. 2003; p 501-529.
- Permentier K, Vercammen S, Soetaert S, Schellemans C. Carbon dioxide poisoning: a literature review of an often forgotten cause of intoxication in the emergency department. *Int J Emergency Med.* 2017; 10(1): 14.
- Petropoulos IK, Pournaras JA, Munoz JL, Pournaras CJ. Effect of carbogen breathing and acetazolamide on optic disc PO₂. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005; 46(11): 4139-4146.
- Pontier JM, Lambrechts K. Effect of oxygen-breathing during a decompression-stop on bubble-induced platelet activation after an open-sea air dive: oxygen-stop decompression. *Eur J Appl Physiol.* 2014 Jun;114(6):1175-1181.
- Pournaras JA, Poitry S, Munoz JL, Pournaras CJ. Experimental branch vein occlusion: the effect of carbogen breathing on preretinal PO₂. *J Fr Ophtalmol.* 2003; 26(8): 813-818.
- Rosengarten B, Spiller A, Aldinger C, Kaps M. Control system analysis of visually evoked blood flow regulation in humans under normocapnia and hypercapnia. *Eur J Ultrasound.* 2003; 16(3): 169-175.
- Schmetterer L, Findl O, Strenn K, Graselli U, Kastner J, Eichler HG, Wolzt M. Role of NO in the O₂ and CO₂ responsiveness of cerebral and ocular circulation in humans. *Am J Physiol Society.* 1997, 273(6): R2005-2012.
- Satish U, Mendell M, Shekhar K, Hotchi T, Sullivan D, Streufert S, Fisk WJ. Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance. *Environ Health Perspect.* 2012; 120(12): p 1671-1677.
- Van der Schrier R, van Velzen M, Roozkrans M, Sarton E, Olofsen E, Niesters M, Smulders C and Dahan A (2022), Carbon dioxide tolerability and toxicity in rat and man: A translational study. *Front. Toxicol.* 2022; 4:1001709.
- Wang YZ, Li TT, Cao HL, Yang WC. Recent advances in the neuroprotective effects of medical gases. *Med Gas Res.* 2019; 9(2): 80-87.
- Warkander DE, Norfleet WT, Nagasawa GK, Lundgren CE. CO₂ retention with minimal symptoms but severe dysfunction during wet simulated dives to 6.8 atm abs. *Undersea Biomedical Res.* 1990; 17(6): 515-523.
- Wu SY, Wu CP, Kang BH, Li MH, Chu SJ, Huang KL. Hypercapnic acidosis attenuates reperfusion injury in isolated and perfused rat lungs. *Crit Care Med.* 2012; 40(2): 553-559.
- Wu SY, Li MH, Ko FC, Wu GC, Huang KL, Chu SJ. Protective effect of hypercapnic acidosis in ischemia-reperfusion lung injury is attributable to upregulation of heme oxygenase-1. *PLoS One.* 2013; 8(9): e74742.
- Zakher E, Ganesh T, Cheng HL M. A novel MRI analysis for assessment of microvascular vasomodulation in low-perfusion skeletal muscle. *Sci Rep.* 2020; 10(1): 4705.

RESUME

Effets du CO₂ sur la survenue des accidents de désaturation. Revue de la littérature. L Daubresse, N Vallee, A Druelle, J Morin, R Roffi, O Castagna, R Guieu, JE Blatteau. Bull. MEDSUBHYP. 2023, 33 (1) : 1-12.

Introduction : L'inhalation de concentrations élevées de CO₂ à la pression atmosphérique peut s'avérer toxique avec des effets dose-dépendants sur l'appareil cardio-respiratoire ou le système nerveux central. L'exposition à des ambiances hyperbares mais aussi hypobares est susceptible d'entraîner la survenue d'accidents de décompression. Les effets du CO₂ sur la survenue de ces accidents sont assez peu documentés et avec des résultats contradictoires.

L'objectif était de réaliser une revue de la littérature afin de préciser les effets de l'inhalation de CO₂ sur la survenue des accidents de décompression dans le contexte d'exposition hypo ou hyperbare.

Méthode : la revue systématique a intégré des études expérimentales chez l'animal et chez l'homme en hyper ou hypobarie évaluant l'impact du CO₂ sur la formation des bulles, la dénitrégation ou la survenue d'accidents de décompression. La recherche était effectuée à partir d'articles recherchés dans PubMed sans restriction de langue ni limite de temps et d'articles issus d'ouvrages spécialisés de médecine subaquatique et aéronautique.

Résultats : 8 articles sur 39 ont été retenus et classés selon les critères d'exposition hypo ou hyperbare, en prenant en compte la période d'inhalation du CO₂ par rapport à l'exposition et en distinguant les travaux expérimentaux des études réalisées chez l'homme.

Conclusion : Avant ou pendant un séjour en condition hypobare, l'exposition à des concentrations élevées de CO₂ favorise la formation de bulles et la survenue d'accidents de décompression. En condition hyperbare, l'exposition à des pressions partielles élevées de CO₂ majore la survenue des accidents lorsque l'exposition survient pendant la phase de séjour à la pression maximale, tandis qu'on observe des effets bénéfiques (diminution de la formation des bulles et meilleure dénitrégation) lorsque l'exposition se produit pendant la décompression. Ces effets opposés en fonction de la période d'exposition pourraient être liés, 1) aux propriétés physiques du CO₂, gaz très diffusible qui peut influencer la formation des bulles et augmenter leur volume, 2) aux effets vasomoteurs (vasodilatation cérébrale), 3) aux effets ventilatoires (hyperventilation) et 4) à des effets anti-inflammatoires (voies kinase-facteur nucléaire et hème oxygénase-1) médiés par l'acidose. L'usage de mélanges respiratoires O₂ - CO₂ pendant ou immédiatement après la décompression pourrait constituer une méthode intéressante de prévention l'accident de décompression.

MOTS CLE :

dioxyde de carbone, hypercapnie, plongée, bulles, accident de décompression, hyperbarie, hypobarie, sortie extravéhiculaire, dépressurisation, dénitrégation.

3^{ème} Congrès International Scientifique Francophone



Médecine Subaquatique et Hyperbare



Medsubhyp
La Société de Médecine et de Physiologie
Subaquatiques et Hyperbares de langue Française



Hammamet, Tunisie 18-20 Mai 2023



ACHOBEL



COMITE D'ORGANISATION

Le comité d'organisation est composé de :

Président du congrès :

Pr Hedi GHARSALLAH

Président du comité :

Dr Anis BAFFOUN

Le comité :

Dr Raja BEN SASSI

Dr Afef BOUJEMAA ROUISSI

Dr Imen MEZOUGH

Dr Rym BOUAFIF

Dr Walid SAMOUD

Pr Chihebeddine ROMDHANI

Dr Amel SOUISSI (responsable accréditation)

COMITE SCIENTIFIQUE

Le comité scientifique est présidé par Pr Nebiha BORSALI FALFOUL

Le Comité Scientifique est composé de membres de toutes les organisations :

STMH (Tunisie) :

Pr Nozha BRAHMI

Pr Mounira KHZAMI

DR Ghazi KAROUI

ACHOBEL (Belgique):

Dr Peter GERMONPRE

Pr Costantino BALESTRA

Dr Stephane LEFEVRE

ARESUB (Ile de la Réunion) :

Dr Cyril D'ANDREA

CUHMA (Canada) :

Pr Sylvain BOET

Pr Dominique BUTEAU

MedSubHyp (France) :

Pr Jean-Eric BLATTEAU Pr Djillali ANNANE

Dr Mathieu COULANGEDr Jean Louis MELIET

SUHMS (Suisse) :

Dr Claudio CAMPO NOVODr Benoit DESGRAZ

NOS PARTENAIRES

PARTENAIRES INSTITUTIONNELS



Liste des partenaires



Julphar







RESUMES DES COMMUNICATIONS ORALES

MEDECINE HYPERBARE : CEREBROLESES, INDICATIONS PEU CITEES

O1- L'oxygénothérapie hyperbare favorise l'excroissance axonale

Dominik André-Lévigne¹, Margot Maytain¹, Rodrigue Pignel², Daniel Felix Kalbermatten¹, Srinivas Madduri¹
1, Service de Chirurgie Plastique, Reconstructive et Esthétique, Département de Chirurgie, Hôpitaux universitaires de Genève, Suisse,
2, Unité de médecine et de thérapie hyperbare, Service des Urgences, Hôpitaux universitaires de Genève, Suisse,

Introduction : L'oxygénothérapie hyperbare (OHB) est une approche prometteuse pour favoriser la régénération des nerfs périphériques. Les mécanismes d'action sous-jacents sont mal compris, les protocoles thérapeutiques souvent incohérents et les indications peu claires. Cette étude évalue les effets de l'OHB seule ou en combinaison avec une stimulation par le facteur de croissance nerveuse (NGF) sur une lignée cellulaire nerveuse (PC12). La prolifération cellulaire, la survie et la différenciation (excroissance des neurites) ont été analysées.

Matériels et méthodes : Les cellules ont été exposées à une seule séance d'OHB (90 min) ou à des séances quotidiennes sur quatre jours consécutifs. Cinq groupes ont été étudiés avec ou sans stimulation avec NGF groupe témoin (21 % d'oxygène), 100 % d'oxygène à 1 ATA (atmosphère absolue), 2 ATA, 2.5 ATA ou 3 ATA. Nous avons évalué la survie et le taux de prolifération à l'aide d'une coloration Life/Dead et d'Alamar blue ainsi que l'excroissance axonale à l'aide d'une immunocoloration à la tubuline beta-III.

Résultats Sans stimulation au NGF, une séance unique d'OHB a stimulé significativement la prolifération des cellules, alors que des séances répétées d'OHB ont augmenté le taux de cellules mortes à 2, 2.5 et 3 ATA par rapport au groupe témoin ($p < 0,01$). En revanche, chez les cellules stimulées par NGF, l'OHB répété a augmenté significativement l'excroissance axonale en maintenant le même nombre absolu de cellules à l'exception du groupe 3 ATA ($p < 0,05$).

Conclusion : Sans NGF, une séance unique d'OHB augmente le nombre de cellules alors que l'OHB répétée induit la mort cellulaire. En revanche, avec NGF, l'OHB répété n'induit pas de mort cellulaire mais stimule l'excroissance des neurites. Par conséquent, on a pu mettre en évidence un effet neuroprotecteur du NGF contre la mort cellulaire induite par le stress oxydatif ainsi qu'un possible effet neuro-régénérateur de l'OHB. Ces résultats sont prometteurs pour application de l'OHB chez les patients avec des lésions des nerfs périphériques. D'autres études sont en cours pour mieux comprendre l'effet de l'OHB sur la régénération des nerfs périphériques.

O2-Prise en charge des tentatives de pendaison : Place de l'Oxygénothérapie Hyperbare

Erika PARMENTIER-DECRUCQ

Pôle de Médecine Intensive et Réanimation et centre hyperbare, Centre hospitalo-universitaire de Lille, France,

La pendaison est une striction cervicale avec encéphalopathie anoxique par asphyxie et ischémie qui si elle se prolonge, aboutit à un arrêt cardio-respiratoire. La pendaison représente un faible pourcentage des tentatives de suicide mais un pourcentage important (environ 40 %) des décès par suicide. Bien que souvent décrites, des lésions traumatiques vertébrales, musculaires, nerveuses, artérielles et laryngées sont méconnues d'un point de vue épidémiologique. Seul le pronostic, lié à la souffrance cérébrale post anoxique, est bien évalué. La prise en charge, surtout symptomatique, varie selon les équipes. Par exemple, la réalisation d'examen complémentaires diffère selon les habitudes des services. Les scanners cérébraux rachidiens en sont des exemples typiques. Par contre, tous s'accordent à lutter contre l'œdème cérébral, où peut intervenir l'oxygénothérapie hyperbare (OHB). Sans être

exhaustif sur les effets bénéfiques attendus, l’OHB diminue le débit sanguin cérébral et la pression intra-crânienne, mais sans chute de la délivrance en oxygène, conduisant donc à une diminution du débit d’exsudation plasmatique et une diminution de la formation de l’œdème interstitiel. L’OHB permet également une reprise plus rapide du métabolisme aérobie cérébral. Il s’agit d’une indication de type III depuis la dernière conférence de consensus européenne de 2016. Bien que cette indication soit optionnelle, l’OHB est systématique dans la prise en charge des tentatives de pendaison au CHU de Lille.

Dans notre expérience, les patients sans arrêt cardio-respiratoire ont un taux de mortalité très faible et une très bonne récupération neurologique. Nos résultats semblent meilleurs que dans la littérature (récupération neurologique totale chez 90 % de nos patients versus au mieux 83 % dans la littérature). La comparaison des résultats de différentes séries amène à penser que l’OHB pourrait réduire les séquelles neurologiques de ces patients avec tentative de pendaison sans arrêt cardio-respiratoire. La réalisation d’une étude randomisée est nécessaire. Un protocole récemment rédigé cherchant à évaluer l’OHB et à obtenir des données épidémiologiques fiables attend sa validation éthique.

O3-Intérêt de l’oxygénothérapie hyperbare dans la prise en charge de l’œdème osseux chez le sportif de haut niveau

HUNT Jennifer, FATSEAS Jules, JEANMASSON Yoann,
RIU Béatrice CHU Toulouse – Centre de Médecine Hyperbare,

Introduction : L’œdème osseux, entité radiologique récemment décrite, est responsable de douleurs chroniques handicapantes et difficiles à traiter notamment chez les sportifs de haut niveau. Peu d’études existent sur la prise en charge de l’œdème osseux chez le sportif. Quelques études sur des pathologies apparentées à l’œdème osseux et les connaissances scientifiques sur l’oxygénothérapie hyperbare suggèrent que cette thérapie pourrait être intéressante dans la prise en charge de l’œdème osseux chez les sportifs

Matériel et méthode : Nous avons conduit une étude observationnelle rétrospective sur 11 patients, jeunes sportifs de haut niveau, victimes d’œdème osseux objectivé par IRM et souffrant de douleurs chroniques évoluant depuis plusieurs mois. Ils ont bénéficié d’une prise en charge au centre d’oxygénothérapie hyperbare du CHU de Toulouse entre 2018 et 2020. 10 à 30 séances de caisson hyperbare ont été réalisées avec une réévaluation clinique et radiologique par IRM dans le mois suivant la fin des séances.

Résultats : 9 patients sur 11 ont présenté une amélioration clinique dont 7 patients sur 9 une amélioration à l’IRM. La reprise d’une activité physique a été précoce chez les patients améliorés. **DISCUSSION :** Il s’agit de la 1^{ère} étude sur l’oxygénothérapie hyperbare dans la prise en charge de l’œdème osseux du sportif. Elle semble en faveur d’une telle thérapie, bien que de nombreuses limites soient rencontrées. Une étude interventionnelle bien menée sur plus grand échantillon serait nécessaire pour explorer davantage cette hypothèse.

Références: Akhavan S, Martinkovich SC, Kasik C, DeMeo PJ. Bone Marrow Edema, Clinical Significance, and Treatment Options: A Review. *J Am Acad Orthop Surg.* 15 oct 2020;28(20):e888-99. Balestra C, Germonpré P, Poortmans JR, Marroni A. Serum erythropoietin levels in healthy humans after a short period of normobaric and hyperbaric oxygen breathing: the “normobaric oxygen paradox”. *J Appl Physiol.* 2006;100:7. Bleakman D, Alt A, Nisenbaum ES. Glutamate receptors and pain. *Seminars in Cell & Developmental Biology.* oct 2006;17(5):592-604. Blum A, Roch D, Loeuille D, Louis M, Batch T, Lecocq S, et al. L’œdème médullaire : définition, valeur diagnostique et pronostique. *Journal de Radiologie.* déc 2009;90(12):1789-811. Boks SS, Vroegindeweij D, Koes BW, Bernsen RMD, Hunink MGM, Bierma-Zeinstra SMA. MRI Follow-Up of Posttraumatic Bone Bruises of the Knee in General Practice. *American Journal of Roentgenology.* sept 2007;189(3):556-62. Bosco G, Vezzani G, Enten G, Manelli D, Rao N, Camporesi EM. Femoral condylar necrosis: treatment with hyperbaric oxygen therapy. *Arthroplasty Today.* déc 2018;4(4):510-5. Sahoo K. Study of Imaging Pattern in Bone Marrow Oedema in MRI in Recent Knee Injuries and its Correlation with Type of Knee Injury. *JCDR Capone A, Podda D, Ennas F, Iesu C, Casciu L, Civinini R.* Hyperbaric Oxygen Therapy for Transient Bone Marrow Oedema Syndrome of the Hip. *HIP International.* mars 2011;21(2):211-6. Ceponis P, Keilman C, Guerry C, Freiburger J. Hyperbaric oxygen therapy and osteonecrosis. *Oral Dis.* mars 2017;23(2):141-51. Grassmann J, Schnependahl J, Hakimi A, Herten M, Betsch M, Lögters T, et al. Hyperbaric oxygen therapy improves angiogenesis and bone formation in critical sized diaphyseal defects. *J Orthop Res.* Avr 2015;33(4):513-20. Izumino J, Kaku M, Yamamoto T, Yashima Y, Kagawa

H, Ikeda K, et al. Effects of hyperbaric oxygen treatment on calvarial bone regeneration in young and adult mice. *Archives of Oral Biology*. sept 2020;117:104828. Jan AMA, Sándor GKB, Iera D, Mhawi A, Peel S, Evans AW, et al. Hyperbaric oxygen results in an increase in rabbit calvarial critical sized defects. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. févr 2006;101(2):144-9. Júnior LHF, Limirio PHJO, Soares PBF, Dechichi P, de Souza Castro Filice L, Quagliatto PS, et al. The effect of hyperbaric oxygen therapy on bone macroscopy, composition and biomechanical properties after ionizing radiation injury. *Radiat Oncol*. déc 2020;15(1):95. Kawada S, Wada E, Matsuda R, Ishii N. Hyperbaric Hyperoxia Accelerates Fracture Healing in Mice. Zadpoor AA, éditeur. *PLoS ONE*. 14 août 2013;8(8):e72603. Kiralp M, Yildiz S, Vural D, Keskin I, Ay H, Dursun H. Effectiveness of Hyperbaric Oxygen Therapy in the Treatment of Complex Regional Pain Syndrome. *J Int Med Res*. mai 2004;32(3):258-62. Limirio PHJO, da Rocha Junior HA, Morais RB de, Hiraki KRN, Balbi APC, Soares PBF, et al. Influence of hyperbaric oxygen on biomechanics and structural bone matrix in type 1 diabetes mellitus rats. Vashishth D, éditeur. *PLoS ONE*. 16 févr 2018;13(2):e0191694. Liu M, Chen H, Tong M, Zhou J, Wu X. Effects of Ultra-early Hyperbaric Oxygen Therapy on Femoral Calcitonin Gene-Related Peptide and Bone Metabolism of Rats With Complete Spinal Transection. *Spine*. août 2018;43(16):E919-26. Pedersen TO. Hyperbaric oxygen stimulates vascularization and bone formation in rat calvarial defects. :8. Tardieu J, Albertini JJ, Dicostanzo J, Gauthier J, Gardette B, Lemaire M, et al. Les effets d'une exposition répétée à l'oxygène hyperbare (OHB) sur la performance physique du sportif. *Science & Sports*. déc 2004;19(6):301-7. Ververidis AN, Paraskevopoulos K, Keskinis A, Ververidis NA, Molla Moustafa R, Tilkeridis K. Bone marrow edema syndrome/transient osteoporosis of the hip joint and management with the utilization of hyperbaric oxygen therapy. *Journal of Orthopaedics*. nov 2020;22:29-32. Wu D, Malda J, Crawford R, Xiao Y. Effects of Hyperbaric Oxygen on Proliferation and Differentiation of Osteoblasts from Human Alveolar Bone. *Connective Tissue Research*. janv 2007;48(4):206-13.

04-Oxygénothérapie hyperbare en médecine sportive : réalité ourivalité ?

Stéphane Lefèvre¹, Séverine Macq², Michel Calow¹, Jordan Dhaeyer¹, Fabien Guerisse¹ *1Service de médecine hyperbare, Hôpital André Vésale, CHU de Charleroi, Belgique. 2Service de médecine et traumatologie du sport, CHU de Charleroi, Belgique.*

Introduction : Depuis les premières utilisations datant des années 1960-1970, l'OHB s'est petit à petit taillé une place discutée et controversée dans le monde sportif s'invitant dans tous les sports et sur tous les continents que ce soit au niveau professionnel mais aussi à grand renfort de publicité au niveau des sports amateurs. La demande pour ce type d'indication est donc croissante et il nous semblait indispensable d'essayer de définir une ligne de conduite plus précise entre polémique médiatique d'une part et réalité scientifique d'autre part.

Méthodologie : L'étude a été menée en deux étapes. Dans un premier temps, nous avons analysé l'impact potentiel de l'OHB sur les adaptations physiologiques spécifiques de l'exercice physique. Ensuite, une revue systématique de la littérature a été menée dans différentes bases de données (medline-pubmed, embase) eu égard à l'effet de l'OHB en pratique sportive.

Conclusions : A l'issue de cette recherche, les résultats de l'effet de l'OHB ont pu être répartis et discutés en trois catégories différentes : la performance sportive, la récupération sportive après l'effort et enfin la cicatrisation tissulaire en traumatologie sportive.

05-De l'oxygène en haute-dose, intermittente pour traitement du Long COVID : une étude à l'aveugle, prospective, randomisée et placebo-contrôlée

Med CPN D'HOORE Leen, Med LCL GERMONPRE Peter
Hôpital Militaire de Bruxelles, Belgique

INTRODUCTION : Les patients « long COVID » souffrent des symptômes persistants, physiques, neurocognitifs et psychiatriques, durant plus de 3 mois, sans autre diagnostic expliquant ces symptômes. Depuis le 6 octobre 2021, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a reconnu cette condition clinique et l'a définie comme

« condition post-COVID-19 ». Une personne sur 8 infectées par le COVID souffre de cette maladie. Le traitement nécessite une approche multidisciplinaire. Des publications récentes ont montré des résultats très prometteurs grâce à un traitement par oxygénothérapie hyperbare (OHB). Pourtant, il manque des études randomisées, contrôlées pour définir le nombre des séances et la pression optimale. **MATÉRIELS ET MÉTHODES :** L'étude prospective, mono-centrique, randomisée et contrôlée par placebo, avec 100 patients a pour objectif principal de déterminer si le traitement réduit le nombre de symptômes persistants et augmente la qualité de vie. Les patients sont randomisés en 4 groupes « normobare normoxique » (= 0,21 ATA O₂), « normobare hyperoxique » (= 1 ATA O₂), « hyperbare normoxique » (= 1 ATA O₂) et « hyperbare hyperoxique » (= 2,5 ATA O₂). L'évaluation se fait grâce à une échelle subjective des symptômes (C19-YRSm), un questionnaire sur la qualité de vie (EQ-5D-5L), des tests neuropsychométriques sur ordinateur (PEBL 4.1.2) et un test de marche (6MWT). Le traitement consiste en une séance journalière pendant 70 minutes, cinq jours par semaine, pendant une période consécutive de deux semaines. Tous les patients sont traités dans une chambre hyperbare multiplace, les appareils de mesures de pression et des gaz respiratoires sont cachés afin que les patients ne puissent pas en prendre connaissance.

RÉSULTATS : L'étude est en cours, jusqu'à présent une soixantaine de patients sont inclus et traités.

DISCUSSION : Le traitement OHB du long COVID n'est pas repris parmi les indications reconnues par l'European Committee for Hyperbaric Medicine (ECHM). Les études actuellement publiées ne permettent pas de déterminer la réelle valeur de l'OHB, ni le nombre des séances, ni la pression ou dose d'oxygène optimale. Malheureusement, le traitement aléatoire des patients long COVID par OHB tel que pratiqué actuellement, rend une évaluation scientifique difficile. Une des raisons est la réticence des Comités d'Éthique à remettre en question une « pratique courante ».

MEDECINE HYPERBARE : URGENCES HYPERBARES

O6- L'Oxygénothérapie hyperbare dans la prise en charge des occlusions de l'artère centrale de la rétine ; retour d'expérience sur 6 années de prise en charge au CHU de Nice.

Colin VESES, Andreas KAUERT

Centre Hospitalier Universitaire de Nice, Unité de Traitement par Oxygénothérapie Hyperbare,

30 Voie Romaine, 06002, Nice cedex 1, France.

veses.c@chu-nice.fr

Introduction : L'occlusion de l'artère centrale de la rétine (OACR) entraîne une baisse de l'acuité visuelle (AV) profonde et irréversible par nécrose rétinienne (1,2). Aucune thérapeutique conventionnelle n'a fait la preuve de son efficacité dans ce contexte (3). Plusieurs études ont démontré l'intérêt de l'oxygénothérapie hyperbare (OHB) pour suppléer l'oxygénation de la rétine en attendant la reperfusion spontanée qui intervient généralement en moins de 21 j (4,5). Le centre hospitalo-universitaire de Nice possède 6 années d'expérience dans le traitement des OACR par OHB pour 108 patients que nous avons analysés dans cet article.

Matériel et méthodes : Cette étude est rétrospective, monocentrique, incluant tous les patients ayant bénéficié d'OHB pour une OACR entre septembre 2016 et septembre 2022. 2 séances par jour d'OHB (2,2-2.5 ATA, 90 min) étaient poursuivies jusqu'à revascularisation de l'artère centrale de la rétine (ACR) à l'angiographie à la fluorescéine (AF) à J14 et J21 ou avant en cas de récupération visuelle. Le critère de jugement principal était l'amélioration de l'AV définie comme une diminution $\geq 0,3$ logMAR après OHB.

Résultats : 107 patients ont été inclus, 62 exclus et 45 finalement retenus pour analyse. Une reperfusion spontanée de l'ACR a été observée chez 82,2 % (n = 37) des patients ; dans 15,5 % des cas (n = 7), la reperfusion n'avait toujours pas eu lieu à J21. En moyenne, 26 séances d'oxygénothérapie hyperbare ont été réalisées. L'AV initiale était en moyenne égale à 2,1 logMAR et l'AV finale moyenne à 1,5 logMAR soit un gain moyen significatif (p=0,000001839) de 0,62 logMAR, allant jusqu'à 1,6 logMAR chez les patients pris en charge en moins de 4 heures.

Discussion : Deux séances quotidiennes d'OHB jusqu'à reperméabilisation de l'ACR sont associées avec une amélioration significative de l'AV en cas d'OACR. La récupération visuelle est d'autant plus importante que le début de l'OHB est précoce, idéalement dans les 4 premières heures.

Mots clés : Occlusion artère centrale de la rétine, Oxygénothérapie hyperbare, Accident vasculaire ischémique, Ophtalmologie, Neurovasculaire.

Références :

1. Hayreh SS. Ocular vascular occlusive disorders: Natural history of visual outcome. *Prog Retin Eye Res.* juill 2014;41:1-25.
2. Schumacher M, Schmidt D, Jurklics B, Gall C, Wanke I, Schmoor C, et al. Central Retinal Artery Occlusion: Local Intra-arterial Fibrinolysis versus Conservative Treatment, a Multicenter Randomized Trial. *Ophthalmology.* juill 2010;117(7):1367-1375.e1.
3. Mac Grory B, Schrag M, Biousse V, Furie KL, Gerhard-Herman M, Lavin PJ, et al. Management of Central Retinal Artery Occlusion: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Stroke* [Internet]. juin 2021 [cité 31 juill 2022];52(6). Disponible sur: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/STR.000000000000366>
4. Chiabo J. Efficacy and safety of hyperbaric oxygen therapy monitored by fluorescein angiography in patients undergoing a retinal artery occlusion. 2021;
5. Di Vincenzo H, Kauert A, Hyperbaric Oxygen Therapy Department, Pasteur University Hospital, Cote d'Azur University, Nice, France, Martiano D, Ophthalmology Department, Pasteur University Hospital, Cote d'Azur University, Nice, France, et al. Efficacy and safety of a standardized hyperbaric oxygen therapy protocol for retinal artery occlusion. *Undersea Hyperb Med.* 1 juill 2022;495-505

O7-Quelle(s) table(s) OHB pour la prise en charge d'une embolie gazeuse ?

JOFFRE Thierry – JEANNOT Gauthier – LAYE Jean Marc – JACQUET Landry
Centre de Médecine Hyperbare – Hospices Civils de Lyon – France.

Le traitement par oxygénothérapie hyperbare (OHB) de l'embolie gazeuse (EG) fait l'objet recommandations internationales mais néanmoins, il resterait certains aspects du protocole hyperbare à mieux préciser, particulièrement en termes de profondeur et de durée d'une table d'OHB, ainsi que du nombre de séances nécessaires à mettre en œuvre. Une enquête rétrospective réalisée en 2022 auprès de 18 centres de médecine hyperbare a permis de mieux préciser les pratiques. Les résultats portent sur 386 EG avec préférentiellement une première séance à 2,8 ou 4 ATA mais dont les durées sont très variables (de 90 à 300 minutes). L'étude montre également que 90 % des patients ont bénéficié d'une seule ou deux séances. Au final comme résultat thérapeutique 50 % des patients ont présenté une guérison complète, 40 % avec des séquelles significatives et une mortalité voisine de 10 %. Des thérapeutiques médicamenteuses complémentaires à l'OHB ont été réalisées dans moins de 25 % des cas. Il a également été mis en évidence des contraintes logistiques pouvant influencer sur les paramètres de la séance d'OHB. Pour l'avenir, il a été proposé de mettre en place un registre multicentrique de recueil des données médicales, en vue de pouvoir ultérieurement définir des recommandations et des standards de prise en charge de l'EG en médecine hyperbare.

Mots Clefs : oxygénothérapie hyperbare – embolie gazeuse

O8- Intérêt pronostique de l'OHB au cours de l'intoxication grave au CO

BRAHMI Nozha

Service de Réanimation médicale et toxicologique. CMYAMU de Tunis

INTRODUCTION :

L'intérêt pronostique de l'oxygénothérapie hyperbare (OHB) par rapport aux séquelles neurologiques retardées, a fait l'objet de nombreuses controverses quant à la nature de ces séquelles et les protocoles d'administration de l'OHB. Les résultats étaient positifs par rapport aux patients les plus graves. Notre étude a pour objectif d'étudier l'intérêt pronostique de l'OHB à court terme au cours des intoxications graves au monoxyde de carbone (CO) admises en réanimation.

METHODES :

Etude rétrospective, monocentrique réalisée dans le service de Réanimation Médicale Polyvalente et Toxicologique du Centre Mahmoud Yacoub d'Assistance Médicale Urgente et Réanimation (CAMUR) de Tunis, entre le 01/01/2018 et le 30/03/2023.

Ont été inclus tous les patients hospitalisés au service de Réanimation pour intoxication grave au CO, et ayant nécessité le recours à la ventilation mécanique invasive (VMI) d'emblée, soit pour altération de l'état de conscience ou pour détresse respiratoire.

L'intoxication grave au CO était retenue sur un faisceau d'arguments anamnestiques, cliniques et biologiques.

Le dosage de l'HbCO s'est effectué selon la méthode de co-oxymétrie. Le dosage d'HbCO n'a pas été exigé pour retenir l'intoxication oxycarbonée, si les circonstances cliniques et anamnestiques étaient en faveur.

Le protocole d'OHB était uniformisé, de 2,2 à 2,5 ATA pour une durée de 60 à 90 minutes pour la séance.

RESULTATS :

Un total de 211 patients a été inclus pour un nombre total de consultants aux urgences pour intoxication au CO de 1350. Cent quarante patients ayant bénéficié d'une oxygénothérapie normobare (ONB) et 71 patients d'une oxygénothérapie hyperbare. La population était jeune avec un âge médian de 32 ans pour le groupe ONB, et de 39 ans pour le groupe OHB, ($p = 0,102$) avec un taux d'HbCO médian comparable à l'admission 20 vs 30 ($p = 0,07$). Les patients du groupe OHB étaient plus graves (tableau 1). Malgré la gravité initiale chez ce groupe la mortalité était similaire au groupe ONB.

	OHB (n=71)	ONB (n=140)	P
Durée exposition (H)	5[<1 ;>12]	2[<1 ;9]	<10 ⁻³
Perte de connaissance initiale(n, %)	57, 80	83, 59	0,002
Signes neurologiquespathologiques (n, %)	35, 49	18, 13	<10 ⁻³
Coma (n, %)	25, 35	10, 7	<10 ⁻³
Recours à la ventilationmécanique IOT (n, %)	24, 34	5, 3	<10 ⁻³
Anomalies à l'ECG (n, %)			
Troubles du rythme	7, 10	3, 2	0,018
SCA	19, 27	4, 3	<10 ⁻³
Rhabdomyolyse (n, %)	24, 34	13, 9	<10 ⁻³
Hyperkaélmie (mmol/L)	4, 5	0	0,018
Décès (n, %)	3, 4	2, 1	0,212

Tableau 1 : analyse univariée liée à la gravité des patients.

L'analyse multivariée a montré que la présence de signes neurologiques (p = 0,002, Orajus = 3,58 ; IC95% [1,6-8]), le recours à l'intubation (p = 0,001, Orajus = 6,66 ; IC95% [2,13-20,76] et la présence d'un syndrome coronarien aigu (p = 0,000, Orajus = 11,62 ; IC95% [3,49-38,68]étaient des signes indépendants de gravité.

L'analyse des sous-groupes de patients comateux, a montré que l'OHB a permis de raccourcir la durée de séjour sans pour autant affecter les autres paramètres ni la mortalité (tableau 2).

	OHB (n=25)	ONB (n=10)	P
Durée exposition (h)	3[<1 ;>12]	7[6 ;>12]	0,516
HBCO en %	10[3 ;48]	24[5,8 ;76]	0,368
Recours à la VMC (n, %)	20, 80	5, 50	0,089
Durée hospitalisation	1[1 ;3]	4[1,25]	0,026
Trouble de rythme (n, %)	-	1, 10	0,286
SCA (n, %)	7, 28	1, 10	0,250
Décès (n, %)	2, 8	2, 20	0,319

Tableau 2 : analyse univariée chez le sous-groupe des patients comateux

Concernant les complications neurologiques retardées chez les survivants, nous avons procédé à une enquête téléphonique au mois d'octobre 2022. Trente-sept patients ont répondu au téléphone, 10 parmi le groupe OHB et 27 parmi le groupe ONB. Trois patients parmi le groupe ONB avaient développé un SNR avec la persistance de troubles mnésiques et d'incontinence focale.

CONCLUSION :

Indépendamment des limites de ce travail, nous pouvons conclure que l'OHB n'a pas d'intérêt pronostique sur la mortalité aussi bien chez toute la population des intoxiqués que chez les patients comateux.

O9-Quelles mesures dans les centres hyperbares après 3 ans de pandémie Covid-19

Miguel Parceiro, Benoit Desgraz, Rodrigue Pignel,
Unité de médecine subaquatique & hyperbare, Hôpitaux Universitaires de Genève, Suisse.

Introduction : Les centres hyperbares ont-ils été des vecteurs pour la propagation du virus SarsCov2 ? L'enquête effectuée en 2021 par l'ICHF afin de connaître les changements dans la prise en charge des patients face à la pandémie, avait décrit l'organisation des centres, et les screenings systématiques des patients. Elle n'avait relevé qu'une seule contamination (contamination d'un patient dans la salle d'attente), montrant ainsi le peu de risques en milieu hyperbare pour les patients et les soignants. Ces résultats ont renforcé l'idée de maintenir les activités hyperbares malgré les différentes vagues de pandémie successives, montrant que les centres n'avaient pas été des vecteurs ou des clusters. Plus de 80 % des centres avaient mis en place des mesures de lutte contre cette nouvelle infection. 25 % des centres avaient néanmoins fermé par manque de personnel réquisitionné pour renforcer les différents secteurs d'urgence ou de soins aigus. Qu'en est-il après 3 ans de crise sanitaire ? La pandémie due au Covid-19 a-t-elle modifié les processus d'organisations, de travail, dans les différents centres Hyperbare ?

Méthode : Un questionnaire de 34 questions a été envoyé par courriel (1 envoi, 2 rappels) entre septembre 2022 et janvier 2023 à l'ensemble des centres francophones afin de connaître les impacts et les contaminations par le Covid-19 dans leurs centres. Trente-neuf centres ont été questionnés dont 9 centres n'acceptant que les urgences.

Résultats : Dix-huit centres ont répondu soit un retour de 46 %. 100 % des centres affirment avoir pris des mesures particulières pour protéger les patients et le personnel. Ces mesures ont concerné les domaines suivants : distanciation sociale, nettoyage et désinfection des masques utilisés par les patients. Un certain nombre de centres ont déclaré avoir été impactés de manière négative, par le manque de matériel disponible ou l'approvisionnement de celui-ci.

Conclusion : Nous avons pu mesurer l'impact des vagues successives sur les centres hyperbares francophones et les mesures qui ont été prises pour la continuité des activités. Il en ressort après analyse des données que les centres hyperbare n'ont été ni des clusters ni des vecteurs de contaminations au Covid-19, même après plusieurs vagues de Covid et de la mutation de celui-ci. Les mesures de bonnes pratiques pour le contrôle, la lutte contre les différentes infections ont été adoptées et vont perdurer dans l'ensemble des centres hyperbares francophones dans le monde. Les prises de températures, la désinfection systématique des mains (patients et soignants), désinfections des installations, l'isolement de patients affaiblis (ou qui présentent une suspicion d'infection) en chambre seul, la distanciation sociale quand elle est possible (utilisation d'un siège sur deux), l'adoption d'un sens de flux évitant le croisement entre entrants et les sortants, semblent devoir durer et ne poser que quelques rares complications dans l'organisation de travail.

O10- L'oxygénothérapie normobare et hyperbare au cours de l'intoxication au monoxyde de carbone : étude comparative

L.Messaoud, M.Kilani, E.Seghir, S.Sellaouti, H.ElGhord, H.Thabet
Service des Urgences, Centre Mahmoud Yaacoub d'assistance médicale urgente de Tunis.

Introduction : L'intoxication aiguë au CO est fréquente, très souvent collective et saisonnière. Elle serait la première cause de mortalité accidentelle d'origine toxique. Des séquelles neuropsychologiques tardives ont été fréquemment rapportées par les patients au décours de cette intoxication. Le rôle de l'oxygénothérapie hyperbare (OHB) dans la prévention de ces séquelles reste encore un sujet de débat. Nous proposons cette étude avec pour objectif d'analyser l'apport de l'OHB par rapport à l'oxygénothérapie normobare (ONB) dans la prévention des séquelles neuropsychiques chez les patients victimes d'une intoxication aiguë au monoxyde de carbone.

Méthodes : Il s'agissait d'une étude descriptive analytique rétrospective monocentrique portant sur les patients victimes d'une intoxication grave au CO admis au service des urgences du centre Mahmoud Yaacoub d'assistance médicale urgente entre Décembre 2021 et Février 2022. Ont été recueillies les données démographiques, cliniques,

biologiques, thérapeutiques et évolutives de tous les patients inclus. Les patients ont été divisés en deux groupes : -Groupe oxygénothérapie hyperbare -Groupe oxygénothérapie normobare.

Résultats : Durant la période de l'étude, 50 patients ont été inclus, 25 dans chaque groupe. L'âge médian était de $35,5 \pm 15,8$ ans et un genre ratio à 1,27. Les comorbidités les plus fréquentes étaient : l'hypertension artérielle 9,8 %, le diabète 5,9 %, la grossesse 5,9 % et une cardiopathie ischémique 2 %. Une séance d'oxygénothérapie hyperbare a été indiquée pour tous les patients mais faite seulement chez 50 % de la population suite à des contraintes administratives. Les principales indications à l'OHB étaient : une perte de connaissance initiale (47,1 %), un taux d'HbCO élevé à l'admission (37,3 %), une ischémie myocardique (7,8 %) et une grossesse (5,9 %). Les séquelles neurologiques et psychiques (entre les 1^{er} et 3^{ème} mois) les plus fréquentes étaient : des céphalées (25,5 %), des troubles de la mémoire (23,5 %), une irritabilité (19,6 %), des troubles de l'humeur (17,6 %) et des troubles du sommeil (17,6 %). Un retentissement sur l'activité professionnelle et ou scolaire a été observé chez 5 patients soit 9,8 % de la population. Les deux groupes (OHB, ONB) étaient comparables en termes d'âge, genre et antécédents médicaux. Il n'y avait pas de différence significative dans l'apparition des séquelles neurologiques ou psychiques entre les deux groupes. La comparaison de la prévalence des séquelles neuropsychiatriques entre les deux groupes (OHB / ONB) est résumée par le tableau I.

Tableau I : Comparaison des séquelles neuropsychiatriques entre les deux groupes (OHB/ONB) Oxygénothérapie hyperbare (n = 25) Oxygénothérapie normobare (n = 25) p

Céphalées	7	6	0,747
Trouble de la mémoire	6	6	1,00
Trouble du sommeil	7	2	0,666
Irritabilité	5	5	1,00
Trouble de l'humeur	4	5	0,781

Conclusion : Le recours à l'oxygénothérapie hyperbare n'était pas associé à une diminution de la prévalence des séquelles neuropsychiatriques au cours des intoxications aiguës au CO.

O11-Initiation à la Médecine Hyperbare Hospitalière en Algérie : État des Lieux et perspectives.

N. Tabet Aoul, K. Rezig, Y. Menad, I. Belkacem, K. Sellam, M. Daouadji, A. Belhoussine, B. Asli, M. Oudjenia, K. Belmokhtar, A. Benothmane, H. Makhzoumi.
Faculté de médecine d'Oran (ALGERIE) Centre Hospitalo-Universitaire d'Oran (ALGERIE).

Introduction : L'unité d'oxygénothérapie hyperbare (OHB) du service des Urgences médicales du CHU Oran est la première unité hospitalière en Algérie située au niveau du tri médical mitoyenne de l'unité de réanimation. Les indications les plus fréquentes de l'oxygénothérapie hyperbare sont les lésions du pied diabétique, les ulcères de l'ischémie critique chronique ou les infections à anaérobies ainsi que les intoxications au CO. L'OHB est toujours un traitement complémentaire aux thérapeutiques habituelles et il est nécessaire d'effectuer un nombre élevé de séances d'OHB afin d'obtenir les résultats escomptés. L'objectif de ce travail est de décrire l'état des lieux et les différents types de pathologies prises en charge au niveau de cette unité.

Matériel et méthode : C'est une étude descriptive des patients admis dans l'unité d'oxygénothérapie hyperbare du CHU Oran sur une période de 03 mois du 25 décembre 2022 à février 2023. Le personnel médical est composé d'un médecin réanimateur, de 2 médecins diplômés en médecine hyperbare et de 6 médecins généralistes ainsi que du personnel paramédical et des manipulateurs. Les paramètres étudiés sont : âge, sexe, service d'origine, les indications, le protocole, durée et le nombre de séances.

Résultats : 20 patients ont été pris en charge dans l'unité d'oxygénothérapie hyperbare depuis sa création avec un total de 195 séances soit une moyenne de 9 séances par patient avec un minimum de 3 pour les intoxications au CO (19 adulte et 1 enfant), l'âge moyen est de 55 ans avec un minimum de 10 ans et maximum 70 ans, sexe ratio 3/1 (3 hommes pour 1 femme). Les indications sont dominées par le pied diabétique (55 %), suivies des intoxications au CO (25 %) et le reste reparti entre surdité, otite externe, abcès, accident de plongée.

Conclusion : La création du premier centre de médecine hyperbare hospitalier aux urgences médicales à Oran en Algérie va permettre la prise en charge des patients nécessitant de l'oxygénothérapie hyperbare à des fins thérapeutiques et élargies pour différentes indications.

MEDECINE HYPERBARE : LESIONS POST-RADIQUES ET AUTRES

O12- Place de l'oxygénothérapie hyperbare dans la prise en charge de l'ostéonécrose des maxillaires induite par les bisphosphonates.

OUERTANI Hend¹, BLOUZA Ikdam, GUAROUACHI Obaid, MASMOUDI Rym, KHATTECH Mohamed Bassem

1- MCA en médecine et chirurgie buccale à l'hôpital militaire de Tunis rattachée à la faculté de médecine dentaire de Monastir.

Résumé : L'ostéonécrose des maxillaires constitue un effet indésirable associé aux bisphosphonates (BP). Ces molécules inhibitrices du remodelage osseux sont de plus en plus indiquées dans le traitement de pathologies bénignes ou malignes. L'ostéonécrose qui s'en suit se manifeste par les signes cliniques de l'infection, la douleur et une exposition osseuse qui persiste plus de 8 semaines. La prise en charge des patients avant le traitement par BP avec élimination des foyers infectieux bucco-dentaires reste le principal moyen de prévention. Une fois installée, l'ostéonécrose nécessite une prise en charge particulière. Parmi les traitements expérimentaux et se calquant sur le modèle de l'ostéoradionécrose, l'oxygénothérapie hyperbare (OHB) a montré ses preuves.

Objectif : Démontrer à travers un cas clinique, les effets de l'OHB dans la prise en charge d'une ostéonécrose des maxillaires. ****Observation clinique :** Une patiente consultant dans le cadre d'une ostéochimionécrose des maxillaires due aux BP (acide zolédronique) prescrits pour le traitement d'une métastase osseuse suite à un cancer du sein, présentait une exposition osseuse mandibulaire étendue. Elle a été proposée pour une chirurgie d'élimination d'un séquestre osseux. Dans le but de favoriser l'oxygénation tissulaire et permettre des conditions cellulaires favorables à une meilleure cicatrisation, des séances d'OHB ont été proposées avant et après la chirurgie. Vingt séances ont été réalisées avant de programmer la chirurgie, suivie de l'ablation d'un séquestre osseux de grande étendue réalisée sous anesthésie locale et sous couverture antibiotique. Trente séances supplémentaires ont permis une cicatrisation complète du site opératoire avec fermeture muqueuse, résolution de l'infection et disparition des douleurs. Les contrôles réguliers ont objectivé une bonne évolution clinique et radiologique.

Discussion : Bien que l'effet de l'OHB reste hypothétique sur le plan théorique, ses effets sur le turn-over cellulaire par une néo-formation osseuse et un remodelage osseux plus efficace et sur l'angiogenèse dans le tissu osseux objectivable dès la 8^{ème} séance ainsi que son rôle bactériostatique sur les bactéries anaérobies ont été objectivés par différentes études et rapportés de cas. En conclusion l'OHB peut trouver sa place dans l'arsenal thérapeutique des ostéonécroses des maxillaires pour favoriser le pronostic et aider les patients à améliorer leur qualité de vie.

O13-Les incidents oto-rhino-laryngologiques secondaires à l'oxygénothérapie hyperbare

Mezri Sameh¹, Driss Melek¹, Khaldi Amira¹, Mnasria Sleh¹, Ben Sassi Raja², Akkari Khemaies¹, Gharsallah Hédi²

1 Service d'ORL et de CCF. Hôpital Militaire principal d'instruction de Tunis

2 Service d'oxygénothérapie hyperbare. Hôpital Militaire principal d'instruction de Tunis

Introduction : L'oxygénothérapie hyperbare (OHB) est un moyen thérapeutique proposé dans la prise en charge de multiples pathologies médico-chirurgicales. L'environnement hyperbare est cependant susceptible de générer des événements indésirables de la sphère oto-rhino-laryngologique (ORL), pouvant entraver l'achèvement du protocole thérapeutique. Le but de notre travail était de décrire les aspects cliniques des incidents ORL au cours des séances d'OHB, ainsi que les facteurs prédisposant à leur survenue.

Méthodes : Il s'agissait d'une étude rétrospective menée au centre d'OHB de l'Hôpital Militaire de Tunis colligeant les patients traités par OHB durant la période 2016-2020. Nous avons comparé deux groupes de patients (GI : patients ayant présenté une complication ORL, GII : patients sans complications).

Résultats : Parmi 1932 patients, 5 % (97 patients) ont présenté 101 incidents ORL liés à l'environnement

hyperbare. Le barotraumatisme de l'oreille moyenne (BTOM) représentait la principale complication (81 %) avec un stade 2 de TEED modifiée dans 28 % des cas et un stade 5 dans six cas. Les acouphènes (un cas), les vertiges (quatre cas) et les barotraumatismes sinusiens (14 cas) étaient moins fréquents. Nous avons noté un pic de fréquence des complications au cours des deux premières séances (33 %) pendant la phase de compression (47 %). À l'issue de l'étude statistique et après régression logistique, il ressort que le sexe masculin, les antécédents vasculaires et la surdité brusque étaient prédictifs de complications ORL. Le BTOM était plus fréquent chez les patients âgés de plus de 50 ans. Pour l'épistaxis (en rapport avec un barotraumatisme sinusien), le risque était multiplié par 6,5 et 3,5 respectivement pour l'âge supérieur à 50 ans et en cas de présence d'antécédents vasculaires.   côté du traitement spécifique, l'arrêt définitif des séances a été jugé nécessaire chez 39 patients.

Conclusion : Les complications secondaires à l'environnement hyperbare touchant la sphère ORL sont multiples et perturbent souvent le déroulement des séances d'OHB. La recherche systématique et rigoureuse des facteurs prédisposant à ces  v nements, ainsi que la bonne éducation thérapeutique des patients sont primordiales pour ne pas compromettre l'achèvement du protocole thérapeutique.

O14- Rétinopathie Diabétique et Oxygénothérapie Hyperbare : Bilan des 03 années d'activités

Khallouli Asma¹, Saidane Rahma¹, Choura Racem¹, Ben Sassi Raja², Kallel Zeineb¹, Mzoughilmen², Maalej Afef¹, Gharsallah Hedi²

1 Service d'Ophthalmologie, Hôpital Militaire Principal d'Instruction de Tunis, Tunisie. 2 Service d'Oxygénothérapie Hyperbare, Hôpital Militaire Principal d'Instruction de Tunis, Tunisie e

Objectif:  valuer à travers une étude prospective l'effet de l'oxygénothérapie hyperbare (OHB) sur les lésions de rétinopathie diabétique et sur l'œdème maculaire diabétique, chez des patients traités par des séances d'OHB pour un pied diabétique

Méthodes. Deux groupes ont été comparés : le premier groupe comportait 25 patients traités par OHB pour des pieds diabétiques chez qui une rétinopathie diabétique non proliférante a été diagnostiquée à l'examen du fond de l'œil. Le groupe contrôle comportait 25 patients ayant une rétinopathie diabétique mais chez qui aucun traitement par OHB n'a été préconisé. Le protocole d'OHB réalisé chez les patients du premier groupe était de 30 sessions de 90 minutes chacune à 2,5 ATA avec une moyenne de cinq séances par semaine. Tous les patients ont eu un examen ophtalmologique initial (mesure de l'acuité visuelle et de la pression intra-oculaire, examen du FO), une photographie du FO ainsi qu'un examen OCT. Un examen de contrôle a été fait à la fin de l'OHB.

Résultats. Comparés au groupe contrôle, les patients traités par OHB ont eu une régression ou une stabilisation de leur rétinopathie diabétique. Une réduction de l'épaisseur maculaire centrale (EMC) a également été notée après OHB.

Conclusion. L'oxygénothérapie hyperbare semble améliorer les lésions de rétinopathie diabétique et l'œdème maculaire diabétique. Ce traitement peut constituer un moyen thérapeutique complémentaire pour l'ischémie rétinienne et l'hyperperméabilité capillaire au cours de la rétinopathie diabétique.

O15-L'effet de l'oxygénothérapie hyperbare sur la microcirculation rétinienne chez les yeux sains

Saidane Rahma¹, Choura Racem¹, Ben Sassi Raja², Selmi Slim¹, Mzoughi Imen², Maalej Afef¹, Khallouli Asma¹, Gharsallah Hedi²

1 Service d'Ophthalmologie, Hôpital Militaire Principal d'Instruction de Tunis, Tunisie.

2 Service d'Ophthalmologie, Hôpital Militaire Principal d'Instruction de Tunis, Tunisie.

But : Cette étude visait à évaluer les réponses du tissu rétinien à l'hyperoxie après l'oxygénothérapie hyperbare (OHB) en utilisant l'angiographie par tomographie en cohérence optique (OCT-A).

Méthodes : L'étude a été menée chez des patients ayant reçu un traitement par OHB pour des affections autres que ophtalmologiques. Les patients ont subi un examen ophtalmologique complet comprenant une mesure de l'acuité

Résumés

visuelle (AV) et un examen du fond d'œil. Des scans maculaire en OCT-A 6 × 6 mm du plexus capillaire superficiel (SCP) et profond (DCP) ont été analysés (Optovue RTVue XR Avanti, AngioVue) dans tous les yeux. Une analyse quantitative des densités vasculaires (VD) (globale, parafovéale et périfovéale) et de la zone avasculaire fovéale (FAZ) dans les deux plexus a été réalisée. Tous les sujets ont été examinés au début de l'étude et toutes les dix séances jusqu'à la 30^e séance. Si le patient a reçu plus de 30 séances, des contrôles réguliers ont été effectués toutes les 10 séances jusqu'à la fin du traitement par OHB. Un contrôle à 3 mois a également été effectué.

Résultats : Au total, 74 patients (26 femmes) présentant une rétine saine ont été inclus dans l'étude. L'âge moyen était de $48,03 \pm 13,42$ ans. Les mesures moyennes de la densité vasculaire du SCP avant OHB dans les yeux droits et gauches étaient de $49,06 \pm 4,24$ % et $48,71 \pm 3,77$ %, respectivement. Les mesures moyennes de la densité vasculaire du DCP avant OHB dans les yeux droits et gauches étaient de $50,94 \pm 6,1$ % et $50,71 \pm 5,86$ %, respectivement. Nous avons analysé l'évolution des VDs dans les deux plexus en stratifiant sur le côté (droit et gauche) et comparé les données de l'examen périodique aux valeurs de base. Quel que soit le côté étudié, nous n'avons pas noté de changement dans les densités vasculaires du SCP et du DCP après 10 et 20 séances d'OHB (p NS). L'examen à la 30^e (n = 74), 40^e session (n = 28), 50^e (n = 10) et 60^e (n = 10) a révélé une diminution statistiquement significative des VDs uniquement dans le DCP par rapport aux valeurs de base (p = 0,017, p = 0,012, p = 0,01, p = 0,013 respectivement dans l'œil droit et p = 0,011, p = 0,044, p = 0,025, p = 0,015 respectivement dans l'œil gauche). Lors du dernier contrôle, 3 mois après la dernière séance d'OHB, nous avons constaté un retour à la ligne de base avec des moyennes de VDs statistiquement comparable aux valeurs de base dans les deux yeux (p NS). Les changements de la FAZ avant et pendant la thérapie HBO₂ n'étaient pas statistiquement significatifs (p NS).

Conclusions : Une rétine saine répond à la sursaturation en oxygène par l'OHB en diminuant éventuellement la densité vasculaire, surtout dans les couches profondes. Ces résultats novateurs peuvent nous aider à mieux comprendre les mécanismes d'action de l'OHB au niveau de la rétine saine.

O16-Place de l'Oxygénothérapie Hyperbare dans les ingestions de Peroxyde d'Hydrogène. Données des Centres Antipoisons et de Toxicovigilance français, Revue de la littérature et proposition d'une conduite à tenir

Dr Laurence MARINI

Centre Antipoison et de Toxicovigilance (CAPTV) de Paris, Hôpital Fernand Widal, 200 rue du Faubourg Saint-Denis, 75010 Paris.

Lors de son ingestion, le peroxyde d'hydrogène se scinde rapidement en eau et oxygène. Son ingestion peut donner des lésions digestives caustiques, mais aussi libérer des quantités importantes d'oxygène dans la lumière gastrique, et/ou dans la lumière vasculaire, se compliquant d'embolisations gazeuses (aéroportie, embolie veineuse ou artérielle). Quelle est alors la place de l'oxygénothérapie hyperbare (OHB) dans la prise en charge thérapeutique ? Une étude rétrospective descriptive a été menée, reprenant les 22 cas d'intoxications au peroxyde d'hydrogène déclarés aux CAPTV français, pour lesquels une suspicion de complication embolique existait. Une revue de la littérature, portant sur 377 cas d'ingestion de peroxyde d'hydrogène, a ensuite été réalisée [1]. D'après les résultats, plus la quantité et/ou la concentration de la solution de peroxyde d'hydrogène ingérée était importante, plus le pronostic était grave ; la gravité des cas semblait directement liée aux événements emboliques. Il semblerait que l'aéroportie soit associée à une fréquence de survenue plus importante d'embolie gazeuse [2], [3]. Il faudrait pouvoir la rechercher au scanner devant toute symptomatologie digestive bruyante, et/ou ingestion d'une solution concentrée (> 10 %), et ce, même en l'absence de déficit neurologique [4]. Les patients ayant une embolie porte semblaient améliorés par l'OHB. L'utilisation de l'oxygénothérapie hyperbare dans ces indications était associée à un meilleur pronostic vital, mais également fonctionnel (guérison sans séquelles) [5], [6], [7], [8]. Le profil de compression le plus fréquemment utilisé était la Table 6 US Navy, à 2,8 ATA.

Mots-clés : Etude rétrospective, Intoxication, Peroxyde d'hydrogène, Oxygénothérapie hyperbare.

O17-Début de l'oxygénothérapie hyperbare (OHB) en Côte d'Ivoire : Bilandes 3 années d'activité

Ismaël Koné^{1,2}

1 Hôpital Militaire Abidjan, BPV 1

2 Polyclinique Internationale Farah, 11 BP 2956 Abidjan 11

Introduction: La médecine hyperbare en Côte d'Ivoire, le 1^{er} pôle sous-régional, est récente. L'objectif de cette étude était de présenter le bilan de nos activités.

Méthodes:

Il s'agit d'une étude transversale rétrospective à visée descriptive de décembre 2019 à décembre 2022 à l'Hôpital Militaire et la Polyclinique Farah d'Abidjan. Nous avons inclus tous les patients ayant réalisé au moins une séance d'Oxygénothérapie hyperbare en caisson monoplace gonflé à l'oxygène pur.

Résultats:

Nous avons recruté 109 patients pour 445 séances, s'ajoutent 76 visites d'aptitudes à la plongée professionnelle et 16 visites de reprise. L'âge moyen de notre population a été 44 ans avec des extrêmes de 21 et 76 ans dont une prédominance masculine de 81 %. L'indication la plus fréquente était les accidents de plongée 29,2 % (dont 77 % de type 1 qui ont été traités à l'oxygène normobare et 10 % qui ont présenté un Foramen Ovale Perméable) suivie des plaies à cicatrisation difficile 25,3 %. Durée de la séance la plus longue : 7 h. avec la table la plus profonde : 18 mètres dont 4 incidents. Le taux de guérison le plus élevé est 83 % pour les lésions des pieds diabétiques (LPD). 21 % des plongeurs évalués étaient déclarés inaptes au métier de plongeur. **En moyenne une séance coûte 250.000 FCFA (380,52euros)**

Conclusion:

L'activité OHB est relativement faible, car les indications sont peu connues des praticiens ainsi que l'inaccessibilité financière car pas prise en charge par les assurances. Nous constatons une meilleure réactivité à l'OHB chez le sujet de race noire versus type caucasien. Au vu des résultats relativement satisfaisants pour la prise en charge des LPD, son intégration dans le protocole national est en cours.

Mots clés: OHB, Côte d'Ivoire, traitement, coût

MEDECINE HYPERBARE : OHB ET CICATRISATION

O18 – Prise en charge post-chirurgicale des infections de la main par l’oxygénothérapie hyperbare

L. Sellami, M. Hchaf, A. Gallas, M. Ben Hadj Hassine, M. Khezami

Service de chirurgie plastique, réparatrice et esthétique, hôpital militaire principal d’instruction de Tunis.

Les infections de la main constituent un vrai problème de santé publique dans notre pays. En effet, l’état général du patient, la progression des lésions et leur mauvaise délimitation sont fortement évocateurs d’une atteinte grave, mettant en jeu le pronostic fonctionnel et vital de la main. Le traitement initial est chirurgical, comporte un débridement large des tissus contaminés, et est associé à une prise en charge antibiotique et de soutien. Plusieurs études dans la littérature font ressortir les effets bénéfiques de l’oxygénothérapie hyperbare pour traiter les nécroses infectieuses des tissus mous. En effet, elle possède une action directe sur les germes anaérobies et indirecte en restaurant le pouvoir bactéricide des polynucléaires. L’association de l’OHB au traitement antibiotique et chirurgical repose sur des arguments physiopathologiques forts et des évidences tirées des modèles expérimentaux animaux. L’objectif de notre étude consiste à démontrer le rôle de l’oxygénothérapie hyperbare dans le traitement des infections de la main. Il s’agit d’une étude sur 40 cas d’infection de la main incluant les panaris, les phlegmons de gaine des fléchisseurs, les phlegmons des espaces cellulaires, arthrite et ostéo-arthrite. L’âge moyen était de 41 ans avec une prédominance féminine. L’oxygénothérapie était pratiquée après excision chirurgicale des tissus nécrotiques et instauration d’une antibiothérapie adaptée. Les résultats étaient satisfaisants sur le plan fonctionnel dans 80 % des cas.

O19-L’intérêt de l’OHB dans le traitement des pertes de substance par lambeaux/greffe.

H. Bouayachi, M. Ben Hadj Hassine, L. Sellami, A. Ben Henia, M. Khezami

Service de chirurgie plastique, réparatrice et esthétique, hôpital militaire principal d’instruction de Tunis

La chirurgie plastique permet, par l’usage des lambeaux ou des greffes, de couvrir des pertes de substance, de restaurer un tissu, ou encore d’améliorer une fonction. Ces derniers sont des procédés courants de l’arsenal thérapeutique de prise en charge des couvertures et reconstructions des pertes de substances. L’oxygénothérapie hyperbare (OHB) n’a aucun rôle ni indications dans ces procédés quand ces derniers ne sont pas compromis. Néanmoins, dans certaines situations, comme les pertes de substances irradiées et l’insuffisance vasculaire, l’OHB a montré son efficacité et son intérêt dans le sauvetage et la prévention du compromis de ces moyens de couverture. Il s’agit d’une étude rétrospective sur 25 cas, réalisés à l’Hôpital militaire de Tunis de Janvier 2019 jusqu’à Décembre 2022, de patients ayant bénéficié d’une couverture par greffe et/ou lambeaux, toute localisation confondue et ayant eu recours à une thérapie adjuvante de type OHB.

L’objectif est de revoir l’indication de l’OHB comme traitement adjuvant, permettant d’améliorer le taux de réussite de la couverture des pertes de substances par greffe/ lambeaux.

O20-Prise en charge du pied diabétique ulcéré en oxygénothérapie hyperbare : expérience de 10 ans

R. Ben Sassi, I. Nouicer, I. Mezoughi, C. Romdhani, H. Gharsallah

Centre d’Oxygénothérapie Hyperbare – HMPIT

Introduction : L’infection du membre inférieur est une complication sérieuse chez le diabétique. Il s’agit d’une cause majeure d’amputation non traumatique. La prise en charge du pied diabétique infecté nécessite une collaboration multidisciplinaire. Il n’existe pas de statistiques valides en Tunisie. Mais cette complication est à l’origine d’une inflation du coût de la prise en charge du diabétique. Le but de notre travail est d’analyser les profils épidémiologique et clinique, ainsi que l’évolution des patients pris en charge dans notre service pour pied

diabétique infecté et de déterminer les facteurs pronostiques influant l'évolution de cette pathologie.

Méthodes : Patients : Notre travail est une étude rétrospective descriptive des lésions du membre inférieur chez des patients diabétiques. Nous avons inclus les dossiers médicaux relatifs aux lésions du membre inférieur chez un patient diabétique qui a été admis pour un traitement par oxygénothérapie hyperbare au service d'oxygénothérapie hyperbare de l'hôpital militaire de Tunis. La période de l'étude est de 10 ans : de janvier 2010 à décembre 2020. Les patients ont été traités dans une chambre thérapeutique hyperbare multiplace de type HAUX- STARMED. Le protocole thérapeutique a été la réalisation d'une séance d'OHB par jour à 2,5ATA durant 90 minutes, cinq séances par semaine. Les patients insuffisants rénaux dialysés ont bénéficié d'une séance OHB le jour de non dialyse, c'est-à-dire trois séances par semaine.

Résultats : Nous avons colligés 1050 patients diabétiques se présentant avec une lésion du membre inférieur. L'âge moyen est de 61 ans. 77 % des patients sont des hommes. Le diabète est de type 2 chez 79 % des patients, ayant une durée d'évolution moyenne de 17 ans et traité par insulinothérapie chez 76 % des patients. Des facteurs de risque cardio-vasculaires sont retrouvés chez environ la moitié de la population : tabagisme (54 %), hypertension artérielle (47 %). Les patients insuffisants rénaux dialysés représentent 9 % des patients. 48 % des patients étaient amputés dont 19 % avait une histoire d'amputation majeure. À l'admission, 44 % des patients sont classés Wagner 4 et 27 % des patients Wagner 3. Un prélèvement bactériologique a été réalisé chez 40 % des patients, dont 50 % de ces patients ont reçu une antibiothérapie adaptée à l'antibiogramme. La radiographie standard du pied a été réalisée chez 44 % des patients, a montré une ostéite dans 17 % des cas. Le nombre moyen des séances OHB a été de 27 séances. L'évolution a été favorable chez 59 % des patients : cicatrisation sub-totale (20 %) bourgeonnement significatif (34 %). Une amputation a été nécessaire chez 14 % des patients : 6 % pour amputation mineure et 8 % pour amputation majeure.

Conclusion : La prise en charge de la lésion du membre inférieur est multidisciplinaire. L'OHB est un traitement adjuvant recommandé. Son action passe par ses effets physiologiques liés à l'hyperoxie : effet anti-infectieux et effet sur la cicatrisation. Elle permet d'améliorer le pronostic de ces lésions et de réduire le risque des amputations majeures.

O21-Facteurs prédictifs de rémission dans les ostéites post-traumatiques traitées par oxygénothérapie hyperbare

Bertrand CAPPELIEZ, Jean Christophe Linke, Julien POISSY, Erika PARMENTIER- DECRUCQ
CHU Lille

Introduction : L'ostéite post-traumatique (OPT) est un facteur majeur de complication notamment de perte de fonction et d'amputation de membres. L'utilisation de l'OHB dans le cadre des traumatismes avec fracture permet de limiter l'extension de la nécrose des tissus mous, l'infection, de réduire l'inflammation et les lésions d'ischémie-reperfusion. Cette étude avait pour but d'identifier de potentiels facteurs prédictifs de guérison dans les OPT traitées par OHB.

Matériel et Méthodes : Etude rétrospective analytique unicentrique au CHU de Lille entre 2016 et 2021. Inclusion de patients ayant présenté une OPT prouvée selon la définition du groupe Fracture Related Infection (FRI) de 2020. Comparaison de deux groupes stratifiés sur le succès thérapeutique. Echec défini par une rechute (infection par le même germe à < 6 mois), une récurrence (idem mais à > 6 mois) ou une superinfection (infection à un nouveau germe).

Résultats : Vingt-deux patients ont été inclus : 5 dans le groupe rémission et 17 dans le groupe échec. Le temps de suivi médian était de 23 mois. L'âge médian était de 43 ans, le sex ratio H/F à 6,3, et la durée d'hospitalisation de 56 jours en médiane. Dix-neuf patients (86,4 %) présentaient des fractures des membres inférieurs. Il a été retrouvé 21 fractures ouvertes dont : 7 stades IIIA (33,3 %) de la classification de Gustilo & Anderson, 1 stade IIIB (4,8 %) et 13 stades IIIC (61,9 %). La quasi-totalité des patients (n = 21) a subi une ou plusieurs reprises chirurgicales. L'infection était plurimicrobienne dans 95,5 % des cas (n = 21) avec une forte prévalence d'entérobactéries (32,4 %) notamment du groupe 3 (15,3 %), de BGN non fermentant (26,1 %) et d'entérocoques (18 %). L'antibiothérapie probabiliste était une pénicilline associée à un inhibiteur chez 17 patients (77,2 %) avec majoritairement l'amoxicilline-acide clavulanique (63,6 %). Tous les patients ont bénéficié de séances d'OHB avec la table OHB15 (2,5 ATA – 90 minutes). Neuf patients ont démarré les séances après échec médico-chirurgical. Le nombre médian

Résumés

de séances était de 24 par patients. Les séances d'OHB étaient démarrées en médiane 5 jours avant le diagnostic d'infection. Aucune différence significative n'a été retrouvée entre les deux groupes de patients.

Conclusion : Aucun facteur prédictif de rémission de prise en charge des OPT en OHB n'a été mis en évidence dans ce travail. Cependant cette étude aura permis de faire une épidémiologie des patients pris en charge dans notre centre avec un protocole de soins qui reste perfectible tant en termes d'antibiothérapie que de délai avant le début de la prise en charge en OHB.

Mots clés : oxygénothérapie hyperbare ; infection ostéo-articulaire ; ostéite post-traumatique

O22-Oxygénothérapie hyperbare pour le traitement tardif d'une complication ischémique due à une injection cosmétique d'acide hyaluronique.

Farhang Jalilian¹, Samuel P Hetz², Joanna Bostwick³, Sylvain Boet^{1,6,8}

1 Département d'Anesthésie et de Médecine de la Douleur, Unité de Médecine Hyperbare, L'Hôpital d'Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada.

2 Concept Medical, Ottawa, Ontario, Canada.

3 Département de Médecine d'Urgences, L'Hôpital Montfort, Ottawa, Ontario, Canada.

6 Clinical Epidemiology Program, Ottawa Hospital Research Institute, Ottawa, Ontario, Canada.

6 Département d'Innovation en Éducation Médicale, Université d'Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada.

8 Institut du Savoir Montfort, Ottawa, Ontario, Canada.

Introduction : Les ischémies vasculaires et les lésions qui en résultent sont des complications rares connues des injections de produits de comblement cosmétiques (Oranges et coll. 2021). La plupart des ischémies vasculaires liées à l'acide hyaluronique se présentent tôt et peuvent être traitées efficacement par la hyaluronidase. Nous présentons ici un cas de lésion ischémique et de nécrose muqueuse après une injection d'acide hyaluronique cosmétique pour le visage qui est apparue dans les heures suivant l'injection mais n'a pas été diagnostiquée et traitée pendant 5 jours.

Description du cas : Une femme d'une cinquantaine d'années, sans antécédents ou allergie, a reçu une injection d'acide hyaluronique dans les plis nasogéniens bilatéraux et le menton pour des raisons esthétiques. Elle a développé une douleur et une gêne le même jour, qui a été initialement attribuée à une "ecchymose" triviale. Malgré la prise de paracétamol et de codéine, la patiente a développé une aggravation de la douleur et une ulcération cutanée et s'est présentée au service des urgences au jour 5 après l'injection. La patiente a été diagnostiquée avec une atteinte vasculaire de l'artère angulaire gauche liée à l'injection de produit de comblement. À l'examen physique, elle présentait un gonflement localisé, un érythème, de petites vésicules et une ulcération près de la narine ainsi qu'une zone de nécrose sur la muqueuse de la lèvre supérieure (photo 1). La patiente a été traitée par une injection de hyaluronidase (5 ml ; 150 mg/ml) dans le sillon nasogénien gauche et la lèvre supérieure, en plus de céphalexine (500 mg/jour per os) et de valacyclovir (1 g deux fois par jour per os) pendant de 10 jours. Le même jour, 14 séances quotidiennes d'oxygénothérapie hyperbare (OHB) ont été débutées (90 minutes ; 2,5 ATA). La patiente n'a pas reçu de stéroïdes ni d'autres médicaments. Malgré le retard du traitement, le patient a eu un rétablissement essentiellement complet (photo 2) et la thérapie hyperbare a été globalement bien tolérée.

Discussion : Notre cas suggère que, même après un diagnostic tardif de lésion ischémique due à une injection cosmétique, l'injection de hyaluronidase avec des séances quotidiennes d'OHB peut être efficace pour permettre la récupération complète.

Références : Oranges CM, et coll. Complications of Nonpermanent Facial Fillers: A Systematic Review. *Plastic and Reconstructive Surgery Global Open*. 2021 Oct;9(10):e3851. Photos (après accord de la patiente) : Immédiatement avant traitement : Immédiatement après 14 jours de traitement.

MEDECINE DE PLONGEE

O23- O24- Retour d'expérience de la mission DISCOVER : plongée profonde en recycleur en circuit fermé embarqué à bord d'un navire océanographique de la Flotte Océanographique Française (FOF)

Hunt Jennifer, Hontarrede Jérôme

Institut de Recherche pour le Développement,

hunt.jen@hotmail.com, jerome.hontarrede@outlook.com

En août 2022 la mission conjointe CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) et IRD (Institut de Recherche de le Développement) nommée DISCOVER a été menée dans l'archipel du Cap Vert. Elle avait pour objectif d'accroître les connaissances sur la biodiversité sous-marine de l'archipel, et plus particulièrement de comprendre l'histoire évolutive des invertébrés benthiques marins de la zone et d'explorer les processus qui ont contribué à sa diversification.

La campagne a été menée en mer à bord du N/O Antea de la FOF (flotte océanographique française). La première partie de la mission s'est concentrée sur la zone peu profonde (0 à 30 m) et la seconde partie, qui fera l'objet de ce retour d'expérience, était axée sur l'exploration de la zone profonde (40 à 100 m), avec des plongées profondes en recycleur à circuit fermé. Ces plongées en situation d'isolement géographique ont nécessité une organisation particulière, à la fois en amont de la mission, mais également pendant les trois semaines de navigation avec des plongées profondes quotidiennes en équipe et l'obligation de disposer d'un caisson de recompression à bord du navire.

Nous abordons les différents aspects de cette mission, d'abord en rappelant le cadre réglementaire, puis en présentant la sécurisation médicale mise en place (personnel médical et de secours à bord, plan de secours, spécificités de l'isolement géographique, sac de secours, le caisson embarqué, les protocoles d'extraction d'un plongeur accidenté, les protocoles de recompression sur site) ainsi que les aspects organisationnels des plongées (les profils de plongée et le travail au fond, la planification des plongées, les dangers identifiés, le matériel de sécurité, les facteurs humains). Nous présentons ces différents aspects avec ce qui a été mis en place en amont, ce qui a bien mais aussi moins bien fonctionné pendant la mission, et ce que nous en avons retiré. Nous abordons les choix qui ont été fait au décours de la mission et dressons un bilan de cette campagne, qui était une première pour la FOF en termes d'engagement des plongeurs et de l'équipage.

O25-Évaluation de la vasoréactivité cérébrale après des plongées en scaphandre et en recycleur lors d'une mission scientifique dans les ÎlesÉparses

D'Andrea C¹, Chandelier G², Mechergui K³, Boue Y³, Cuvelier A⁴, Oury N², Magalon H²

1. *Service de médecine hyperbare & plaie et cicatrisation. CHU Sud Réunion, St Pierre.*

2. *UMR ENTROPIE (UR/IRD/CNRS/IFREMER/UNC)Faculté des Sciences et Technologies.Université de La Réunion*

3. *Service de médecine hyperbare. Pôle URSEC. Centre hospitalier de Mayotte*

4. *Terre australe et antarctiques françaises*

Les effets de la plongée sous-marine en scaphandre ou en recycleur sur la modification du flux micro et macrocirculatoire périphérique ont été étudiés. Cependant, les modifications du flux sanguin cérébral en post immersion ont rarement été analysées. Nous avons évalué la vasoréactivité cérébrale (VRC) par doppler transcrânien avant et après les plongées.

Étude : 8 plongeurs ont réalisé 177 plongées au cours d'une mission scientifique dans les Îles Éparses. Le niveau de bulles circulantes a été monitoré par écho-doppler sous-clavier et précordial après ces plongées. Une mesure

des vélocités de l'artère cérébrale moyenne avant et après a été enregistrée au repos et après un test d'apnée (*breath hold index* BHI) afin de rechercher un impact de la plongée sur la VRC.

Résultats : 177 plongées ont été réalisées pendant la mission, par 6 hommes et 2 femmes d'âge moyen de 44,7 ans (27-57) dans une eau à une température moyenne de 26,3 °C (25-27) et sur une profondeur moyenne de 22,3 mètres (18-39). Au cours de la mission 76 mesures par doppler transcrânien ont été effectuées dont 64 (84,2 %) 90 à 100 minutes après l'émersion et 12 (15,7 %) dans les moins de 15 minutes après la sortie de l'eau. L'analyse statistique ne montre pas de différence significative sur la capacité de vasoréactivité cérébrale évaluée par l'indice BHI sur les mesures globales ($P = 0,53$) et lorsque les mesures sont effectuées à distance à 90-100 minutes après l'émersion ($P = 0,03$) ; de même le niveau de bulles et le type de plongée (scuba vs recycleur) n'influe pas sur ce résultat. Par contre, on note une diminution du BHI après les plongées lorsque les mesures sont effectuées précocement ($P < 0,001$). **Conclusion :** On retrouve une dysfonction endothéliale transitoire sur le territoire de l'artère cérébrale moyenne après la plongée. Ceci pourrait en partie expliquer les symptômes fréquemment rapportés de migraines et/ou d'aura dans la population des migraineux au décours des plongées. D'autres travaux sont nécessaires pour évaluer son impact dans cette population.

O26-Risques liés aux propulseurs sous-marins : à propos d'un cas de syndrome de Taravana

ROFFI R, BLATTEAU JE

Service de médecine hyperbare et d'expertise de la plongée, Hôpital d'instruction des armées, Toulon.

Résumé

L'offre de propulseurs sous-marins pour la plongée de loisir se développe actuellement, il nous semble important d'évoquer les risques liés à un usage inadéquat.

Nous rapportons le cas d'un plongeur en apnée confirmé de 45 ans, sans antécédent notable, qui a fait une série de 4 apnées d'environ 3 minutes dans la zone des 40 mètres. Il s'agissait de sa première expérience d'utilisation d'un propulseur sous-marin et les vitesses de descente et de remontée étaient particulièrement rapides. Lors de la dernière apnée, il a présenté des troubles de la conscience. Son IRM a révélé une encéphalopathie diffuse avec œdème vasogénique en faveur d'un syndrome de Taravana, nécessitant un traitement par oxygénothérapie hyperbare. L'analyse du cas ne retient pas un mécanisme aéroembolique avec des séquences IRM en faveur d'une formation de bulles directement dans les structures cérébrales. Les vitesses excessives liées à l'emploi du propulseur pourraient expliquer la formation de bulles in situ dans le tissu cérébral.

O27-Mission de plongée Oued Barbara et station de Bouhertma (délégation Fernana Tunisie)

Jeremy BRUNET-MANQUAT

Hydrokarst, 38360 Sassenage, France

Cette étude porte sur une mission de plongée réalisée lors des travaux à Oued Barbara et à la station de Bouhertma en Tunisie. L'objectif était de présenter les chantiers en Tunisie, ainsi que les difficultés techniques rencontrées, les risques associés et les mesures mises en œuvre pour les atténuer.

Les travaux principaux comprenaient la surélévation du barrage de Oued Barbara avec l'ajout de vannes clapets et d'un seuil en béton, la réhabilitation des équipements hydromécaniques et électriques, ainsi que l'installation d'une tour de prise d'eau. Ces travaux, d'un montant total de 80 millions de dinars tunisiens, se sont déroulés sur une période de 4 ans.

La mission de plongée a été réalisée dans des conditions techniques et environnementales complexes. Les plongées se sont déroulées à des profondeurs allant de 15 à 25 mètres, avec une visibilité limitée à 0 - 30 centimètres. Les travaux subaquatiques ont nécessité la démolition de la chambre GC, la fixation de l'embase et des équerres de maintien, ainsi que le montage des éléments de la tour de prise d'eau. Ces opérations ont été effectuées dans un barrage en exploitation, ajoutant une contrainte supplémentaire.

Résumés

Les risques associés aux travaux subaquatiques ont été identifiés et des mesures d'atténuation appropriées ont été mises en place. Un équipement spécialisé a été utilisé, notamment des carotteuses hydrauliques, des compresseurs, des groupes électrogènes et des casques de plongée adaptés. Des procédures de plongée spécifiques, conformes aux normes de sécurité hyperbare de classe 2, ont été suivies. Une équipe de plongeurs qualifiés, composée de cinq COH, a été mobilisée pour garantir la sécurité et l'efficacité des opérations.

Cette étude met en évidence les défis techniques et les risques associés aux travaux subaquatiques lors de la mission de plongée à Oued Barbara et à la station de Bouhertma en Tunisie. Les mesures d'atténuation mises en œuvre ont permis de limiter les risques et de mener à bien les travaux. Les résultats de cette étude contribueront à la compréhension des stratégies et des meilleures pratiques pour la réalisation de projets similaires dans des environnements subaquatiques complexes.

MEDECINE DE PLONGEE : LEGISLATION ET APTITUDE A LA PLONGEE

O28-Aptitude médicale à la plongée à la FFESSM

Docteur Bernard SCHITTLY

Médecin du sport, DU médecine de plongée, président adjoint de la FFESSM,

La plongée subaquatique est classée sport à contraintes particulières en France, du fait qu'elle se pratique en environnement spécifique. De ce fait, l'établissement d'un Certificat d'Absence de Contre-Indication (CACI) annuel est obligatoire pour pratiquer l'activité. Ce CACI est très cadré par la loi, qui demande lors de l'examen médical d'aptitude, d'exercer une attention particulière sur la sphère ORL et l'état dentaire. Cette exigence est insuffisante pour la conduite de l'examen. En effet, il faut également être particulièrement vigilant sur l'appareil cardiaque et l'appareil respiratoire ; la réalisation d'un électrocardiogramme (ECG) est également recommandée par la société de Médecine et de Physiologie Subaquatique et Hyperbare de langue française (MedSubHyp) et de la société française de médecine de l'exercice et du sport (SFMES) qui adoptent eux-même les recommandations de la société française de cardiologie du sport en termes de surveillance ECG (1). La sphère ORL et l'appareil locomoteur vont aussi retenir toute l'attention du médecin. La loi permet que cet examen soit effectué par tout médecin. Cependant il est recommandé de s'adresser à un médecin qui a une formation universitaire particulière dans ce domaine : DIU de médecine hyperbare, DU de médecine de plongée, DU de médecine des sports subaquatiques...

Un questionnaire est mis à disposition des pratiquants. Il peut être une aide précieuse au médecin (2). Les recommandations de MedSubHyp et de la SFMES sont détaillées dans « Recommandations de bonne pratique pour le suivi médical des pratiquants d'activités subaquatiques sportives et de loisir » (2).

Références.

1/ <https://www.sfcardio.fr/publication/recommandations-concernant-le-contenu-du-bilan-cardiovasculaire-de-la-visite-de-non>

2/ MedSubHyp et SFMES. Recommandations de bonne pratique pour le suivi médical des pratiquants d'activités subaquatiques sportives et de loisir. <https://www.medsubhyp.fr>

O29-Spécificités de l'aptitude à la plongée militaire

ROFFI R, BLATTEAU JE

Service de médecine hyperbare et d'expertise de la plongée, Hôpital d'instruction des armées, Toulon.

La pratique d'activités subaquatiques et hyperbares peut être à l'origine de décompensation de pathologies préexistantes mais aussi d'accidents spécifiques immédiats ou à long terme. La première démarche préventive repose sur l'application stricte d'une surveillance médicale spécifique qui est obligatoire pour le personnel militaire plongeur ou travaillant en caisson. L'objectif de cet article est de préciser les modalités pratiques de réalisation de cette surveillance, en la confrontant à celles réalisées pour les plongeurs professionnels civils dits scaphandriers, et en apportant des informations sur les perspectives d'évolution, en fonction des connaissances scientifiques du moment, en lien avec les sociétés savantes et la Haute Autorité de Santé.

Mots-clés : Accidents de plongée. Aptitude médicale. Hyperbarie. Plongée

O30-Les bienfaits de la plongée sur la santé psychique

M. Coulange, MD, PhD^{1,2,3}, JC Reynier^{1,2}, JA Micoulaud^{4,5}, YE Claessens⁶, L Mourot⁷, D. Driot², M Trousselard⁸

1. *Service de Médecine Hyperbare, Subaquatique et Maritime, Assistance Publique DesHôpitaux de Marseille, France.*

2. *Institut de Physiologie et de Médecine en Milieu Maritime et en Environnement Extrême, Phymarex, Marseille, France.*

3. *Inserm 1263 - Inra 1260, Team V: Adenosinergic System and Cardiovascular Disease, Aix Marseille Université, France.*

4. *Sleep medicine, Services Universitaire de Médecine du Sommeil, Sums, Chu de Bordeaux, Bordeaux, France.*

5. *Usr Cnrs 3413 Sanpsy, CHU Pellegrin, Université de Bordeaux, France.*

6. *Service de Médecine d'Urgence, Centre Hospitalier Princesse Grace, Monaco.*

7. *EA3920 Prognostic Factors and Regulatory Factors of Cardiac and Vascular Pathologies, (Exercise Performance Health Innovation-EPHI), University of Bourgogne Franche-Comté, Besançon, France.*

8. *Stress neurophysiology, French Armed Forces Biomedical Research Institute, Brétigny-sur-Orge, France.*

Depuis des décennies, les plongeurs rapportent un effet bénéfique de la plongée sur leur santé et leur qualité de vie sans aucun niveau de preuve scientifique. En 2015, l'auteur avec l'aide de son unité de recherche de Physiologie Intégrée en Conditions Extrêmes d'Aix Marseille Université dirigée par le Pr Rostain, et en collaboration avec l'équipe du Pr Trousselard de l'Institut de Recherche Biomédicale des Armées (IRBA), participe en tant qu'investigateur principal à plusieurs études ayant pour objectif de démontrer les bienfaits de la plongée sur la santé psychique.

Méthode : Après une brève revue de la littérature, l'auteur présente les résultats de trois études comparatives sur l'anxiété, le stress post traumatique des victimes des attentats de Paris et le stress post traumatique des blessés psychiques de l'Armée de terre. Il évoque ensuite les perspectives dans le domaine de l'épuisement professionnel et de la résilience post cancer.

Résultats : En 2015 à Marseille, 37 plongeurs sont comparés à 30 vacanciers participant à un stage de canoë et d'escalade. L'analyse s'effectue à l'aide de questionnaires psychométriques réalisés en début de stage, à la fin du stage puis à 1 mois. Les deux groupes s'améliorent au niveau de l'humeur et des capacités de pleine conscience, mais les bénéfices sont significativement plus marqués au niveau du bien-être et de la réduction du stress perçu dans le groupe plongée avec un effet rémanent à 1 mois. En 2017 en Guadeloupe, 34 patients souffrant de stress post traumatique au décours des attentats de Paris sont randomisés en un groupe plongée et un groupe multisport. La tendance est à une amélioration plus marquée du score PCL5 pour le groupe plongée avec une rémanence à 1 mois mais une atténuation à 3 mois. Le groupe multisport bénéficie secondairement du même protocole en 2018 à Marseille sur le modèle d'un cas témoin avec une amélioration subjective très nette mais sans critère objectif publiable. En 2018 à Malte, une vingtaine de blessés psychiques de l'Armée de terre diminuent leur niveau de stress et améliorent leur sommeil en réalisant le même protocole de plongée. Les effets favorables sur leur psychisme permettent même à certains d'entre eux de se resocialiser. Les résultats sont en cours de publication. D'autres études vont avoir lieu d'ici la fin de l'année 2023 pour évaluer l'intérêt de la plongée dans la prise en charge de l'épuisement professionnel des soignants et dans la résilience post cancer.

Conclusion : Les données scientifiques récentes sont en faveur d'un bénéfice de la plongée sur la santé psychique. Aucun évènement indésirable n'a été déclaré. Les deux modes d'action les plus probables sont la réactivation du système parasympathique et la facilitation de l'état de pleine conscience. Des études complémentaires devraient permettre de préciser les mécanismes d'action ainsi que la fréquence et le nombre de plongées nécessaires pour optimiser ces résultats.

Références

1. Beneton F, Michoud G, Coulange M, Laine N, Ramdani C, Borgnetta M, Breton P, Guieu R, Rostain JC, Trousselard M. Recreational Diving Practice for Stress Management: An Exploratory Trial. *Front Psychol.* 2017 Dec 18;8:2193.
2. Morgan A, Sinclair H, Tan A, Thomas E, Castle R. Can scuba diving offer therapeutic benefit to military veterans experiencing physical and psychological injuries as a result of combat? A service evaluation of Depththerapy UK. *Disabil Rehabil.* 2019 Nov;41(23):2832-2840.
3. Henrykowska G, Soin J, Siermuntowski P. Scuba Diving as a Form of Rehabilitation for People with Physical Disabilities. *Int J Environ Res Public Health.* 2021 Jun; 18(11):5678.
4. Gibert L, Coulange M, Reynier JC, Le Quiniat F, Molle A, Bénétou F, Meurice V, Micoulaud JA, Trousselard M. Comparing meditative scuba diving versus multisport activities to improve post-traumatic stress disorder symptoms: a pilot, randomized controlled clinical trial. *Eur J Psychotraumatol.* 2022 Feb 7;13(1):2031590.
5. Henrykowska G, Soin J, Pleskacz K, Siermuntowski P. Influence of Scuba Diving on the Quality of Life of People with Physical Disabilities. *Healthcare (Basel).* 2022 May;10(5): 761.

MOTS CLEFS : plongée, stress, sport santé, parasympathique, pleine conscience

O31-Place du scanner thoracique basse dose dans la détermination de l'aptitude médicale à la plongée professionnelle

J.L. Méliet¹, B. Aublin², M.F. Carette³, C. D'Andréa⁴, S. De Maistre⁵, H. Etienne⁶, F.Grillet⁷, A. Lachaize⁸, B. Lemmens⁹, B. Loddé¹⁰, B. Maitre¹¹, V. Souday¹².

1. *Coordinateur du conseil scientifique de Medsubhyp, hôpital Sainte-Marguerite, Marseille.*
2. *BTP Santé au travail, Villeurbanne.*
3. *Société française de radiologie, Société d'imagerie thoracique, Hôpital Tenon, Paris.*
4. *Médecine hyperbare - Urgences, CHU Saint-Pierre, Réunion.*
5. *CEPHISMER, Marine nationale, Toulon.*
6. *Chirurgie thoracique, hôpital Tenon, Paris.*
7. *Radiologie, CHU Besançon.*
8. *Médecine du travail, CNRS Marseille.*
9. *Pneumologie, hôpital Robert Debré, Amboise.*
10. *Médecine du travail, CHU Brest.*
11. *Pneumologie, hôpital Henri Mondor, Créteil.*
12. *Médecine hyperbare - Réanimation, CHU Angers.*

La présence de formations aériques intrathoraciques est souvent associée à l'apparition d'un barotraumatisme pulmonaire au cours d'une réduction de la pression ambiante, en plongée subaquatique comme en aéronautique, à l'origine de lésions gravissimes : pneumothorax ou pneumomédiastin suffocant, embolie gazeuse cérébrale. La question s'est donc posée, dans le cadre de la révision des recommandations conjointes de Medsubhyp et de la SFMT (Société française de médecine du travail) pour la prise en charge en santé au travail des travailleurs exposés à des conditions hyperbares de l'intérêt du dépistage systématique de ces lésions préalablement à toute exposition hyperbare professionnelle. Cette question n'a pu réunir de consensus au sein de notre Société.

MÉTHODOLOGIE : C'est pourquoi, pour répondre à la question : « Chez les primo-accédants aux activités

hyperbares professionnelles, indemnes d'antécédents pneumologiques, sans anomalie clinique, est-il indiqué de rechercher systématiquement une formation bulleuse pulmonaire par tomodynamométrie thoracique à basse dose pour prévenir un accident barotraumatique ou aéro-embolique ? » un groupe de travail a été chargé de recueillir la bibliographie et d'en analyser la pertinence et la valeur scientifique. Cette étude a été transmise à des experts des sociétés savantes concernées (médecine du travail, radiologie, pneumologie). Ils devaient commenter les points clés (formes à risque, fréquence, prévalence, risque, pertinence de la méthode d'imagerie) et se prononcer sur la question en termes de il faut faire, il ne faut pas faire ou il faut éventuellement faire si... Les avis des experts ont permis d'établir plusieurs recommandations possibles qui ont été soumises au vote d'un comité de validation composé du conseil scientifique de la SFMT, du conseil d'administration de Medsubhyp et des chefs de service des centres hyperbares hospitaliers.

RÉSULTATS : Une majorité d'avis se dégage rejetant le dépistage systématique des lésions bulleuses intrathoraciques mais accordant une place privilégiée à la tomodynamométrie thoracique à basse dose pour explorer, en visite d'aptitude initiale comme périodique, sur indications, les sujets présentant l'un des éléments suivants :

- des antécédents évoquant un pneumothorax ou un traumatisme thoracique, une pneumopathie infectieuse récente ou des infections pulmonaires récidivantes,
 - une dyspnée ou une douleur thoracique inexplicite,
 - un examen clinique pulmonaire anormal,
 - un IMC < 20 kg/m² associé à un tabagisme actif > 10 paquets-années ou à une consommation régulière de cannabis ou de cocaïne,
 - des résultats d'EFR au-delà de la limite inférieure de la normale (Z-score < -1,64 selon les normes GLI).
- Chaque fois que cela sera possible, le recours à la TDMT ultra basse dose est recommandé.

La radiographie thoracique conventionnelle n'a pas d'indication dans cette recherche.

CONCLUSION : La méthode employée pour la recherche d'avis formalisés d'experts permet de dégager en l'absence de consensus des recommandations qui s'appuient à la fois sur les données de la littérature et sur l'expérience de personnalités de référence dans les disciplines concernées. La tomodynamométrie thoracique à basse dose est validée par nos experts comme méthode de recherche des formations aériques intrathoraciques.

MOTS CLÉS : bulles intrathoraciques - tomodynamométrie thoracique basse dose - aptitude médicale à la plongée.

O32-Stress et panique dans la plongée

Dr.med. Alberto Foglia,
CH-6900 Paradiso, SUHMS

L'auteur présente une vue d'ensemble des phénomènes psychologiques plus importants dans la pratique de la plongée: le stress et la panique. On sait que plus de la moitié des accidents mortels de plongée est due au stress et à la panique ; souvent on trouve les plongeurs morts sans aucun défaut dans leur équipement ou leur ordinateur, signe probable de mort due à la panique.

L'auteur montre les bases physiologiques, anatomiques et psychologiques, même phylogénétiques et ontologiques du stress et de la panique. Cette vue d'ensemble permet de comprendre les réactions irrationnelles des plongeurs sous stress intense, qui aboutissent à la panique avec de possibles conséquences fatales.

O33-Cardiomyopathie dilatée débutante chez le plongeur : intérêt des dérogations

DAHMANI R., DKHIL I., AYED K., BEN DHIA I., KHELIFI T.

Centre d'expertise de médecine aéronautique

La cardiomyopathie dilatée (CMD) est une cause irrévocable d'inaptitude à la plongée, en l'occurrence chez les plongeurs de combat et les plongeurs démineurs. Si la découverte d'une CMD entraîne une inaptitude lors de la consultation d'admission, sa découverte aux consultations révisionnelles ouvre le débat quant à la carrière du plongeur. Notre patient est un plongeur de combat, âgé de 53 ans, tabagique occasionnel, asymptomatique, sportif de part son activité professionnelle, qu'on a examiné dans le cadre d'une consultation révisionnelle semestrielle. L'examen physique est sans anomalies, en dehors d'une pression artérielle élevée au repos à 150/85 mmHg. L'électrocardiogramme se déroule en rythme sinusal avec un bloc incomplet de la branche gauche, sans trouble de la repolarisation. Une échocardiographie trans-thoracique montre une fonction systolique globale du ventricule gauche moyennement altérée à 48 % (SBP) avec une cinétique segmentaire homogène, sans valvulopathie aortique associée, une fuite mitrale minime, une oreillette gauche dilatée, sans anomalie du ventricule droit, ni d'hypertension artérielle pulmonaire. Une épreuve d'effort cardiovasculaire couplée à une épreuve d'effort métabolique est réalisée à 98 % FMT, négative cliniquement et électriquement, sans élargissement des QRS, avec des ESV isolées disparaissant à l'effort. La VO₂ max est à 32,7 ml/kg/min, abaissée pour les valeurs seuils du nageur de combat et par rapport aux valeurs précédentes de la personne. Un complément d'exploration a été réalisé : un holter tensionnel montrant une HTA grade I, un holter rythmique montrant une discrète hyperexcitabilité ventriculaire sans signe de gravité et une imagerie par résonance magnétique qui conclut à une CMD débutante, avec une FeVG à 46 %, sans réhaussement tardif pouvant orienter vers une ischémie myocardique ou une séquelle de myocardite. Sur le plan thérapeutique, le patient est mis sous bêtabloquant, inhibiteur de l'enzyme de conversion et DIVINUS® (Dapaglifozine), en plus d'un régime demi-salé. Sur le plan professionnel, une dérogation a été décidée pour faire bénéficier le patient d'une aptitude pour l'encadrement avec un contrôle révisionnel rapproché tous les 3 mois, en collaboration avec le médecin cardiologue traitant. La CMD est une pathologie potentiellement grave par son évolution autant sur le plan hémodynamique que rythmique. Sa découverte lors de la carrière d'un plongeur entraîne réglementairement l'inaptitude

SOINS ET TECHNIQUES HYPERBARES

O34-Défaillance d'une chambre hyperbare multiplace, résultant dans un incident de surpression : conséquences médicales et analyse technique

Christophe BERT, Ignace DEMEYER, David PLETINCKX, Jonathan AGNELLO, Kurt TOURNOY, Sven Geukens, Jeroen VIDTS
OLV Hospital, Moorselbaan 164, Department of Anesthesia, Intensive Care and Emergency Medicine, B-9300 Aalst, Belgium.

Nous rapportons, pour la première fois, une défaillance technique d'une chambre hyperbare (CH) multiplace pendant son fonctionnement, résultant dans un incident de surpression. Notre installation hyperbare est constituée d'une CH multiplace pouvant accueillir 8 patients assis ou 2 patients couchés (Hytech 1998). Le traitement standard consiste en une séance de 70 min à l'oxygène pur à 2,5 bar. Chaque session est précédée d'un contrôle de l'installation basé sur une liste de contrôle. Tout écart par rapport à cette liste exclut la session.

L'incident s'est produit pendant une session standard avec six patients. Dix minutes après le début de la phase en palier, une pressurisation autonome soudaine et rapide s'est produite. Celle-ci n'a pas pu être arrêtée par une prise en charge manuelle au pupitre. Même l'ouverture manuelle de la sortie principale n'a pas permis d'arrêter la pressurisation. La pression à ce moment-là était 4,3 bar, la soupape de sécurité principale s'est ouverte, résultant dans une décompression rapide. Tout cela s'est accompagné d'un bruit énorme, ajoutant à l'anxiété des patients.

Les conséquences médicales n'ont été que mineures : un barotraumatisme de l'oreille moyenne chez 4 des 6 patients et un traumatisme sonore chez l'opérateur. Aucun autre barotraumatisme, événement de désaturation ou traumatisme psychologique n'a été détecté.

L'analyse technique a révélé une valve défectueuse du contrôleur de pression. Cette défectuosité était très probablement due au fait que l'air comprimé à l'intérieur du système de commande était trop humide, ce qui a entraîné une corrosion. Une enquête plus approfondie a démontré que des pièges à eau automatiques défectueux se trouvaient à l'intérieur des réservoirs de stockage (1500 L à 8,5 bar) de l'air comprimé. Les facteurs contributifs comprennent l'absence d'activité d'OHB pendant le verrouillage national dû à la pandémie de SARS-Cov2 et la faible activité qui a suivi au cours des deux mois suivants. De plus, le dysfonctionnement de cette valve était intermittent, et la valve défectueuse n'a pas été détectée lors de la dernière maintenance.

Ces incidents et l'enquête technique qui a suivi ont conduit à une mise à jour majeure de notre installation hyperbare. Cette mise à jour était à la fois technique et non technique. Cette dernière a fait appel à une communication accrue et systématique entre toutes les parties concernées, un regard réciproque sur la gestion et les actions, et une formation renouvelée, tant théorique que pratique, de l'ensemble du personnel.

O35-Rendre plus confortable, l'inconfortable

Schaller Thomas, Parceiro Miguel, Pignel Rodrigue
Unité de Médecine Subaquatique et Hyperbare, Hôpitaux Universitaires, Genève, Suisse

Introduction : Depuis plus de deux ans, un questionnaire de satisfaction est distribué à l'ensemble des patients ayant bénéficié d'un traitement OHB. 93 % d'entre eux relèvent que c'est un traitement contraignant, long (1 h 30 de séance) et où les distractions à l'intérieur du caisson sont très minimales. La moitié des patients ayant répondu au questionnaire se sont interrogés sur le fait d'interrompre leur traitement car trop ennuyeux.

Constatation : En partant de ce constat et dans un but d'améliorer la qualité des soins, une étude est nécessaire sur les prestations fournies pour les patients à l'intérieur de la chambre hyperbare de Genève. A ce jour, seules la lecture et l'écriture (type mots fléchés) sont acceptées à l'intérieur du caisson. Un poste de radio de type autoradio permet de diffuser de la musique (uniquement station radio) de manière collective. De plus, il semble qu'aucun centre hyperbare d'Europe ne soit équipé d'un support multimédia compatible avec un milieu hyperbare pour distraire les patients. 96 % des personnes interrogées aimeraient un support type tablette écran à l'intérieur du caisson afin de les

Résumés

distraire le temps de leurs séances. En effet, il existe bien sur le marché des tablettes étanches mais qui ne sont pas adaptées pour le milieu hospitalier (elles ne peuvent pas être contrôlées de l'extérieur par le personnel soignant et ne résistent pas aux décontaminations trop régulières).

Projet : Le projet est de développer un outil multimédia, individualisé, compatible oxygène et hyperbare, facilement contrôlable depuis la console de commande du caisson, en adéquation avec les procédures de désinfections sanitaires. Le contenu de cet outil devrait être géré par l'équipe médico-soignante.

Conclusion : Depuis peu, certaines entreprises spécialisées dans le domaine de l'hyperbarie sont en train de développer des technologies multimédias (type aviation) pour équiper l'intérieur des chambres hyperbares. Leur savoir-faire pourrait être mis à disposition des patients de centres hyperbares pilotes afin d'évaluer cette technologie et ainsi apporter des pistes d'amélioration à travers un questionnaire ou des tables rondes avec les patients.

O36-Utilisation de la Thérapie par Pression Négative (TPN) en hyperbarie : aspects techniques

Simon PIRA, Kevin VANDEVELDE, Yoerik NEIRYNCK, Bart VAN MOLLE, Peter GERMONPRE
Centre d'oxygénothérapie Hyperbare, Hôpital Militaire Bruxelles, Belgique

Introduction : La Thérapie par Pression Négative (TPN) est maintenant largement acceptée comme traitement complémentaire dans les soins des plaies complexes et chroniques. Régulièrement, ce traitement est déjà en cours ou est proposé chez des patients chez qui une indication pour oxygénothérapie hyperbare (OHB) est posée. Le maintien d'un traitement TPN durant les séances d'OHB pose un problème, puisqu'à ce jour, aucun appareil de TPN n'est agréé pour fonctionner à une pression hyperbare. L'interruption du traitement TPN pendant la séance d'OHB peut entraîner une efficacité moindre ou encore mener à des effets indésirables tels qu'accumulation de sécrétions avec macération, lâchage du pansement occlusif et infection.

Méthode : Le traitement TPN préconise l'application d'une pression négative entre -50 et -175 mmHg sur la plaie, en continu ou selon un schéma intermittent et ce, pendant au minimum 22 heures par jour. Certains appareils permettent l'instillation intermittente d'une solution désinfectante (isobétadine ou autre). Les tuyaux d'aspiration sont munis d'un clamp ainsi que des connexions spécifiques à chaque marque. Le couplage de ces tuyaux au système d'aspiration de l'installation hyperbare est relativement facile et a été décrite. Le défi réside en l'obtention d'une aspiration constante au niveau approprié durant les changements de pression de la chambre hyperbare, sans risque d'interruption ou augmentation du niveau d'aspiration, le site d'application de la pression négative demeurant étanche. De même, en cas de claquage des tuyaux, le relâchement des clamps ne doit pas provoquer une pression négative trop importante. Des régulateurs de vide réglables existent, et certains modèles disposent d'une sécurité (limitation du niveau de vide maximal) ; cependant, ces modèles ne sont pas courants et leur achat n'est pas évident. Nous avons utilisé un régulateur de vide « standard » (MEDECHigh-Suction, Aalst, Belgique), connecté au système d'aspiration de la chambre hyperbare (HAUX Starmed 2800, Karlsbad, Allemagne), qui assure une aspiration continue de -600 mmHg par rapport à la pression intérieure. Une sécurité de dépression maximale a été obtenue en créant une fuite d'aspiration calibrée (18G) immédiatement avant ce régulateur. La connexion avec le pansement TPN a été obtenue en couplant la partie distale (avec connecteur) d'un conteneur de collection avec le tuyau standard du système à vide.

Résultats : Des tests et mesures à différentes pressions (normobare, hyperbare) et avec différents niveaux de pression négative souhaités (-50 mmHg, -100 mmHg, -150 mmHg) choisis à l'aide de la molette du régulateur de vide, ont montré une stabilité remarquable de la dépression pendant le couplage, la mise en pression, le palier et la décompression de la chambre hyperbare. La pression négative étant parfaitement maintenue, il s'est avéré impossible de provoquer une dépression excessive. L'utilisation de ce système sur patients réels s'est montré tout à fait satisfaisante.

Conclusions Nous avons élaboré et testé un système simple et peu onéreux d'adaptation de notre système « standard » d'aspiration de la chambre hyperbare pour l'utilisation d'un TPN.

O37-Simulation in situ haute fidélité : Gestion d'incidents ventilatoires chez un patient intubé ventilé au cours d'une séance d'OHB

A. Rivet^{1,2}, L. Degand^{1,2}, J. Poussard^{1,2}, F. Lequiniat^{1,2}, J.C. Reynier^{1,2}, B. Barberon^{1,2}, T. Robet^{1,2}, M. Coulange^{1,2,3}

1. Service de Médecine Hyperbare, Subaquatique et Maritime, Assistance Publique Des Hôpitaux de Marseille, France.

2. Institut de Physiologie et de Médecine en Milieu Maritime et en Environnement Extrême, Phymarex, Marseille, France.

3. Inserm 1263 - Inra 1260, Team V: Adenosinergic System and Cardiovascular Disease, Aix-Marseille Université, France.

La prise en charge d'un patient intubé ventilé reste peu fréquente dans la plupart des centres hyperbares (moins de 5 % de l'activité en moyenne). L'expérience limitée de certaines équipes, les contraintes de transport, l'instabilité potentielle du patient, l'isolement et les particularités techniques du caisson peuvent limiter l'efficacité de l'hyperbariste en cas d'incident technique et/ou médical de ventilation, et ainsi engendrer un risque d'évènement indésirable grave. L'entraînement par simulation in situ sur mannequin haute fidélité est un moyen performant pour anticiper ou reconnaître rapidement les complications liées à la prise en charge de ces incidents et mettre en place des boucles de rattrapage efficaces. L'absence de scénario pré-existant dans le domaine de la ventilation en hyperbarie a incité les auteurs à proposer une fiche technique de simulation in situ sur mannequin haute-fidélité à travers 3 scénarios sur une durée totale de 120 minutes. L'objectif est de donner aux apprenants, dans un environnement bienveillant, une méthodologie diagnostique face aux principaux incidents ventilatoires en hyperbarie et d'initier une discussion sur la prise en charge initiale de ces complications tout en mettant en place sans délai une sécurisation du patient.

Public visé, répartition des rôles et briefing : Le public visé est le groupe de stagiaires médecins ou infirmiers hyperbares en formation initiale ou en maintien des acquis. La séance débute par un briefing de 20 minutes avec une présentation de chacun des intervenants (minimum 2) et des apprenants (entre 3 à 8). Un apprenant est désigné pour jouer le rôle d'hyperbariste à chaque scénario (3 scénarios). Un deuxième apprenant peut prendre la fonction de surveillant. Les autres apprenants prennent le rôle d'observateur et participeront activement au débriefing. Ensuite, un des formateurs fait un bref rappel des prérequis en soins critiques et ventilation (check-lists de préparation du respirateur et du matériel nécessaire, recommandations de la ventilation dite « protectrice » et analyse des courbes du respirateur). La dernière partie est consacrée à la présentation d'une méthode rapide permettant de mettre en sécurité le patient ventilé en situation d'instabilité, puis de suivre une démarche diagnostique systématisée patient - circuit-respirateur.

Contenu du scénario : Les apprenants sont accompagnés par un formateur facilitateur en dehors du caisson et un à l'intérieur. Par convention d'exercice, la pression de traitement est de 2 ATA. En fonction du plateau technique, la compression peut être simulée. Le scénario doit durer 20 minutes maximum (5 min de compression, 5 à 10 min de plateau, 5 à 10 min de décompression). Il commence par l'énoncé du cas : patient de 70 kg âgé de 45 ans, adressé pour une séance d'oxygénothérapie hyperbare en urgence suite à une intoxication grave au CO dans un contexte d'incendie. Le patient est intubé sur des critères neurologiques mais stable sur le plan hémodynamique. Il est équipé d'une voie veineuse périphérique avec 500 cc de sérum physiologique et sédaté par midazolam 7 mg/h et sufentanil 10 µg/h sur une deuxième voie périphérique (non curarisé). Il y a trois scénarios possibles avec à chaque fois un incident dans chacune des phases de la séance (compression, plateau, décompression). A chaque étape les formateurs peuvent donner des aides médicales prévues par le script pour sortir les apprenants d'une éventuelle impasse due à un déficit d'expérience dans le domaine de la médecine intensive, comme si un anesthésiste réanimateur appelé à l'aide venait évaluer la situation. Le formateur a le choix entre :

- **Scénario 1 :** réveil (fin de compression), sonde coudée post-réveil (début de plateau) puis débranchement du circuit (début de décompression) ;
- **Scénario 2 :** ballonnet dégonflé (fin de compression), intubation sélective suite à gestion du ballonnet (début de plateau) puis rupture du ballonnet (fin de décompression) ;
- **Scénario 3 :** réveil (fin de compression), bronchospasme (début de plateau) puis pneumothorax compressif (milieu de décompression).

Résumés

Les formateurs peuvent mettre fin à la session à tout moment si les apprenants se trouvent dans une situation de difficultés avec des signes de stress mal toléré.

Debriefing : Il doit respecter les règles du débriefing de la simulation en santé (absence de jugement de valeurs, discussion bienveillante, charte éthique signée par tous les apprenants en début de session). Il se fait au décours des trois scénarios. La durée est limitée à 40 minutes. L'apéro est laissé en premier aux apprenants, permettant de livrer leurs impressions globales puis un déroulé chronologique est fait par les formateurs. La prise en charge de chacune des complications est commentée en partant des apprenants participants avec interrogations des observateurs. L'objectif est de guider une discussion tripartite entre les participants, les observateurs et les formateurs. Les notions soulevées sont renforcées par des recommandations présentées sur un powerpoint et/ou une fiche de synthèse.

Discussion : Ce programme de formation permet en une durée de 120 minutes d'aborder un grand nombre d'incidents de ventilation mécanique pouvant survenir au cours d'une oxygénothérapie hyperbare. Les incidents ne sont pas des situations complexes sur le plan médical, le but étant de transmettre dans cette session une méthode de reconnaissance et d'analyse simple permettant à l'apprenant de mettre en sécurité son patient et d'appeler de l'aide si nécessaire. La difficulté est portée majoritairement par le contexte, l'isolement des soignants dans la chambre, plus que par le patient en lui-même. Les décisions devront être prises en fonction de la gravité de la situation mais surtout des capacités limitées des professionnels dans la chambre. Le choix de la simulation haute-fidélité est justifié par un objectif d'acquisition centré sur les compétences non techniques (mise en place d'une stratégie de traitement, communication entre les équipes à l'intérieur du caisson et au pupitre, gestion de l'environnement hyperbare ...). Le niveau de contrôle des compétences de ce programme est K2 (classification de Kirkpatrick pour la simulation en santé) avec deux questionnaires en fin de session :

- 1^{er} questionnaire : évaluation subjective de l'intérêt de la session et de la progression des connaissances de l'apprenant ;
- 2^e questionnaire : 5 questions pour vérifier l'acquisition des réflexes et de la check-list diagnostique donnée dans le prérequis.

Ce scénario s'inscrit dans un programme plus large de la prise en charge du patient en état critique avec également les complications hémodynamiques pouvant survenir en cours de séance d'oxygénothérapie hyperbare.

Matériel utilisé : Le patient est simulé par un mannequin de la marque AMBU Type Ambuman advanced iv. Le scope est un scope de simulation type I-simulate à l'extérieur du caisson. L'auscultation pulmonaire est réalisée par l'apprenant avec une information délivrée par le facilitateur à l'intérieur du caisson. Le respirateur est un ventilateur certifié pour l'hyperbarie type SERVO-I V8.0. Des fiches plastifiées placées sur l'écran du ventilateur permettent de simuler des modifications de paramètres. Le mode ventilatoire pré-réglé est un mode contrôlé en volume avec trigger activé (assisté contrôlé), une fréquence respiratoire à 16 cycles par minute et une pression expiratoire positive à 6 cmH₂O. Les alarmes de pression maximale réglées à 40 cmH₂O, de volume courant réglé à 4 ml/kg au minimum et 10 ml/kg au maximum. L'équipement du patient est une sonde d'intubation de 7.0 non armée avec un ballonnet gonflé à l'eau, repère 22 cm de l'arcade dentaire, deux voies veineuses périphériques de bon calibre, la 1^{ère} avec un 500 cc de sérum physiologique et la seconde avec la sédation en IVSE hyperbare (midazolam 7 mg/h et sufentanil 10 µg/h) et une sonde urinaire. L'équipe à l'intérieur du caisson est dotée d'un sac d'urgence homologué pour l'hyperbarie avec un compartiment diagnostique (brassard à tension, stéthoscope), un kit de perfusion, un kit intubation, un kit alternatif à l'intubation et un kit d'expiration. La chambre hyperbare est équipée d'une aspiration.

RÉFÉRENCES :

1. Boet S, Bould MD, Fung L, et al. Transfer of learning and patient outcome in simulated crisis resource management: A systematic review. *Can J Anesth.* 2014; 61 (6) : 571-582.
2. ECHM-EDTC Educational and Training Standards. Disponible à : <https://google-url.com/NujF9>
3. Sadatomo Tasaka et al. ARDS clinical practice guideline 2021. *Respir Investig.* 2022 Jul;60(4):446-495.
4. Johnston S, Coyer FM, Nash R. Kirkpatrick's Evaluation of Simulation and Debriefing in Health Care Education: A Systematic Review. *J Nurs Educ.* 2018 Jul 1;57(7):393-398.

MOTS CLEFS : simulation, ventilation, médecine hyperbare, soins critiques, réanimation

O38-Modalités pratique de l'utilisation d'un placebo en hyperbarie.

Yoann Mykijewicz, Miguel Parceiro, Pierre Louge
Unité de Médecine Subaquatique et Hyperbare, HUG, Suisse

Introduction : La réalisation d'une table hyperbare placebo a été nécessaire lors du projet d'étude sur l'intérêt de l'OHB dans le traitement des crises vaso-occlusives drépanocytaires. L'équipe hyperbare des Hôpitaux Universitaires de Genève a testé et validé une table avec une mise en pression minimale donnant un effet d'aveuglement maximal (1,3 ATA)¹. Pour rappel un placebo ne doit entraîner ni effet thérapeutique ni effet adverse.

Constatations : Deux phases sont identifiées comme sensibles lors d'un traitement hyperbare ; la compression et la décompression. La difficulté d'une séance placebo réside dans le fait de mimer les sensations de variations de pression.

Technique : La table placebo a nécessité une adaptation des vitesses de compression et décompression permettant toujours la nécessité d'équilibration de l'oreille moyenne. Afin de mimer au plus près une séance hyperbare il a été nécessaire de jouer sur les bruits et la température. La standardisation d'un discours influençant des opérateurs a joué un rôle conséquent dans ce placebo. De plus les manomètres et horloges ont été cachés pour garantir la confidentialité du traitement effectué.

Conclusion : La standardisation et la validation d'une table hyperbare placebo permet d'envisager d'autres études. Un biais pourrait être évoqué : la suroxygénation (PpO₂ = 0,27 bar) des patients lors de la séance placebo. Mais elle est identique à une oxygénation de 2 litres par minute en normobarie. Cette oxygénation est protocolisée lors de la prise en charge des crises vaso-occlusive du HUG.

Référence

1. Validation of sham treatment in hyperbaric medicine: a randomised trial, Pierre Louge, Rodrigue Pignel, Jacques Serratrice, Jerome Stirnemann, *Diving and Hyperbaric Medicine* Volume 53 No. 1 March 2023.

O39-De l'analyse rétrospective à la création d'un registre des intoxications au monoxyde de carbone

BERNARD Justine, LOUGE Pierre, PIGNEL Rodrigue, SPAGNOLI Philippe
Unité de Médecine Subaquatique et Hyperbare Hôpitaux universitaires, Genève, Suisse

Introduction : L'intoxication au monoxyde de carbone (ICO) est la première cause de décès par intoxication. En Europe le taux de mortalité est d'environ 5 %. Selon la 10^e conférence Européenne de consensus de Lille en 2016, l'ICO est une indication à l'OHB (oxygénothérapie hyperbare) avec un niveau de recommandation de type 1B mais les protocoles de prise en charge varient en fonction des centres.

Constatation : Au sein du service de l'Unité de Médecine Subaquatique et Hyperbare (UMSH) des Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG), une étude prospective de 2011 à 2019 a montré une incidence de 22,6 ICO par an jusqu'en 2013, dont 22 % de tentative de suicide. Au sein du seul centre hyperbare public de Suisse, nous constatons, dès 2013, une augmentation exponentielle du nombre de patient (incidence de 48,6 cas par an dont 11 % de suicidant). Cette nette augmentation de cas est due au développement du service et à la reconnaissance de la discipline ; les patients sont orientés plus facilement. Cependant, cette étude nous montre qu'il existe des failles dans l'analyse des résultats, dues au manque d'informations pertinentes (SpCO, HbCO, délai de PEC...) ainsi que dans le suivi des patients. Un recueil de données commun a permis depuis la reprise de l'étude en 2020 d'avoir des résultats uniformisés.

Projet : Un registre informatisé et sécurisé (RED CAP®) est créé et permettra une étude observationnelle multicentrique. Un suivi à distance pour l'évaluation du syndrome post-intervallaire chez les patients est prévu. La base de données a été validée par la commission d'éthique et répond aux exigences de conservation des données médicales.

Conclusion : L'analyse fiable, objective, multicentrique des résultats permettra l'uniformisation des pratiques (protocole de prise en charge, choix de critères de sévérité, types de tables) et déterminera au mieux la place de l'OHB et ainsi minimiser la survenue du syndrome post-intervallaire.

CAS CLINIQUES MEDECINE DE PLONGEE

O40-Epidémiologie et pronostic des accidents de plongée sous-marine

A. Najar¹, R. Ben Sassi¹, I. Nouicer¹, I. Mezoughi¹, K. Taamallah², M. Msalmani³, I. Ben Dhia⁴, H. Gharsallah¹.

1. *Service d'oxygénothérapie hyperbare. Hôpital militaire de Tunis*

2. *Service de cardiologie. Hôpital militaire de Tunis*

3. *Service de neurologie. Hôpital militaire de Tunis*

4. *Centre d'Expertise de Médecine Aéronautique*

Introduction :

La plongée sous-marine est une activité à risque. Elle expose le plongeur à des risques d'accidents graves parfois mortels. L'épidémiologie et le pronostic de ces accidents sont peu étudiés dans notre pays. La recompression en urgence au caisson hyperbare est souvent le seul traitement spécifique et efficace.

Le but de notre travail a été d'analyser l'ensemble des accidents de la plongée sous-marine pris en charge au centre d'oxygénothérapie hyperbare de l'hôpital militaire de Tunis.

Méthodes :

Il s'agit d'une étude rétrospective, descriptive des accidents de plongée sous-marine diagnostiqués et traités au centre d'oxygénothérapie hyperbare de l'hôpital militaire de Tunis sur une période allant de janvier 2011 à décembre 2022. Tous les dossiers relatifs à la plongée sous-marine ont été inclus dans notre travail.

Résultats :

100 accidents de plongées sous-marines ont été rapportés. L'âge moyen de nos plongeurs est de 34 ans, avec des extrêmes de 17 et 60 ans. Les accidents concernaient surtout des plongeurs expérimentés : 92 plongeurs étaient des professionnels avec une expérience moyenne de 8 ans. La plongée a été réalisée en scaphandre autonome chez 93 plongeurs. Il s'agit principalement de 31 corailleurs et 19 du domaine de l'aquaculture. La profondeur moyenne a été de 50 mètres. La durée moyenne de travail au fond a été de 44 minutes. Les circonstances de la plongée rencontrées ont été : erreurs de procédures (40 plongeurs) – effort au fond (28 plongeurs) – incident technique (15 plongeurs). Les facteurs favorisants retrouvés ont été : aucun (47 plongées), froid (18 plongées), conditions environnementales (10 plongées), et un foramen ovale perméable (2 plongeurs). La narcose à l'azote a été signalée dans deux cas comme étant un facteur favorisant. Les accidents de plongées sont répartis en 98 accidents de désaturation et un accident de barotraumatisme pulmonaire compliqué d'aéroembolie cérébrale et un syndrome de Taravana. Les ADD médullaires représentent 58 accidents associés à des facteurs de gravité. Les ADD cérébraux sont retrouvés dans 12 accidents et les ADD cochléo-vestibulaires dans 8 accidents. Les ADD cérébraux et médullaires sont retrouvés dans cinq accidents. Les ADD ostéo-arthro-musculaires sont rencontrés dans 14 accidents.

65 plongeurs ont eu une recompression en urgence en moins de 24 heures. Le nombre moyen des séances de consolidation est de 10 (1 à 33 séances). L'évolution a été favorable chez 78 patients.

Conclusion :

L'analyse de ces accidents a confirmé les données de la littérature concernant le profil des plongeurs à risque, la corrélation entre les facteurs de risques et les accidents de plongées et l'efficacité de l'oxygénothérapie hyperbare dans le traitement des ADD de type I et II. Cependant notre étude ne permet pas d'émettre une fréquence globale des accidents de plongée en Tunisie qui restent largement sous-estimés avec un accès limité au caisson hyperbare

O41-Analyse interactive de cas cliniques : Accidents de plongée atypiques

M. Coulange, MD, PhD^{1,2,3}

1. *Service de Médecine Hyperbare, Subaquatique et Maritime, Assistance Publique DesHôpitaux de Marseille, France.*

2. *Institut de Physiologie et de Médecine en Milieu Maritime et en Environnement Extrême, Phymarex, Marseille, France.*

3. *Inserm 1263 - Inra 1260, Team V: Adenosinergic System and Cardiovascular Disease, AixMarseille Université, France.*

L'auteur propose à travers une séance interactive avec la salle une analyse de cas cliniques d'accidents de plongée atypiques. Cette session est l'occasion d'aborder les 4 grands types d'accident de plongée (barotraumatisme, accident toxique, œdème pulmonaire d'immersion et accident de désaturation). Elle a pour objectif de mettre en évidence la difficulté d'orientation diagnostique précoce devant la diversité des tableaux cliniques et d'insister sur l'importance d'une prise en charge initiale standardisée. L'humilité est le maître mot de cette séance. Des notions simples permettront aux participants de faire face à la complexité de ces tableaux comme : « tout signe qui apparaît dans les 24 heures qui suivent une plongée est un accident de plongée jusqu'à preuve du contraire » ; « Toute erreur de procédure de décompression, y compris sans signe clinique, est un accident de plongée jusqu'à preuve du contraire » ; « Tout accident de plongée doit être oxygéné, réhydraté, séché, mis au repos strict et bénéficier d'un avis hyperbare systématique » ; « Tout arrêt cardiaque en plongée doit être considéré comme un noyé potentiel, pouvant présenter une fibrillation ventriculaire sur un œdème pulmonaire d'immersion, plus ou moins associée à un pneumothorax compressif et à un dégazage massif. Il doit bénéficier de 5 insufflations puis de 30 compressions pour 2 insufflations à raison de 3 à 4 cycles par minutes, de la mise en place précoce d'un défibrillateur intégrant les spécificités d'un choc électrique en milieu humide, plus ou moins d'une exsufflation thoracique et d'un transfert direct vers un centre hyperbare ». Enfin, « un plongeur peut également faire un accident vasculaire cérébral ou un infarctus du myocarde au décours d'une plongée, nécessitant au moindre doute un avis spécialisé avant toute orientation vers un centre hyperbare ».

Références

1. M Coulange, P Barandiaran, M Bonnafous, G Cochard, C D'Andréa, A Desplantes, JL Ducassé, JM Dudouit, S Girardot, B Grandjean, P Louge, C Ménard, B Paklepa, C Peny, E Pontaven, M Vergne, H Wind. Accidents de plongée. In : *Référentiel Aide Médicale en Mer. SFMU – Samu Urgence de France. 2013 ; 27-37.*
2. M Coulange, JE Blatteau, O Le Pennetier, F Joulia, P Constantin, A Desplantes, A Henckes, V Lafay, A Kauert, R Pignel, B Barberon, P Louge, A Barthélémy. Accidents en plongée subaquatique et en milieu hyperbare. *EMC – Médecine d'urgence. 2015 Déc; 10(4).*

MOTS CLEFS : accident de plongée, alerte, oxygène, médecin hyperbare, caisson hyperbare

O42-Barotraumatisme pulmonaire avec Aéro-embolisme cérébral ou Accident de décompression cérébro-médullaire ?

R. BEN SASSI¹, MSALMANI MARIEM², I. BEN DHIEF³, R. MARISSA², C. ROMDHANI¹, H. GHARSALLAH¹

1. Centre d'Oxygénothérapie Hyperbare - Hôpital militaire de Tunis

2. Service de Neurologie – Hôpital militaire de Tunis

3. Centre d'Expertise Médicale Aéronautique

Introduction :

Le barotraumatisme pulmonaire associé à un aéroembolisme cérébral et les accidents de décompression neurologiques sont deux complications majeures de la plongée sous-marine. Le profil de plongée relatif à ces deux pathologies est différent. Dans certains cas, un problème de diagnostic différentiel peut se poser, comme dans le cas de notre patient.

Cas clinique :

Notre patient est un jeune de 20 ans. Il est plongeur professionnel depuis 3 ans. Le jour de l'accident, il réalise une plongée sous-marine le matin, à une profondeur de 10 mètres. Il réalise une remontée rapide après 15 minutes au fond, à la suite d'une panne technique. Arrivé à la surface, il présente une perte de connaissance de durée brève. Après reprise de son état de conscience, le patient ressent des paresthésies aux quatre membres. Il est amené aux urgences les plus proches où il a été mis sous oxygène au masque haute concentration et réhydratation parentérale. L'examen clinique trouve un patient conscient, état hémodynamique et respiratoire stables et une tétraplégie. La TDM cérébrale et cervicale est sans anomalies. L'évolution initiale a été favorable : régression partielle du déficit neurologique. Le patient a été adressé à notre service. L'examen neurologique a montré une tétraparésie avec un niveau sensitif T8. L'otoscopie a montré un hémotympan bilatéral. La radiographie du thorax n'a pas montré de pneumothorax ni de pneumomédiastin. La recompression thérapeutique a été réalisée à H6 de l'accident selon la table thérapeutique 2,8 ATA/180 minutes. Un traitement par corticothérapie et par acide acétylsalicylique a été administré. L'évolution a été marquée par une récupération quasi-totale de la motricité. Le patient a bénéficié de 7 séances de consolidation. Une IRM cérébro-médullaire a été normale. L'échographie cardiaque n'a pas montré de FOP. L'examen neurologique du patient a été normal à sa sortie de l'hôpital.

Conclusion :

L'accident de plongée chez ce patient a posé un problème diagnostique : BTP avec EGC ou ADD cérébro-médullaire

O43-Un shunt peut en cacher un autre

Ariane Rossi

Service d'Anesthésiologie, Hôpital Universitaire de Bâle (USB), Spitalstrasse 21, 4031 Bâle CAS en Médecine subaquatique et hyperbare, Université de Genève (Unige), Rue du Général-Dufour, 1211 Genève 4

Introduction : Le passage de bulles d'azote dans la circulation artérielle via un shunt droite- gauche peut provoquer un accident de décompression (ADD) avec symptomatologie neurologique. Le plus fréquent est le foramen ovale perméable (FOP). Un cas bien plus inhabituel est cependant présenté ici, décrit à notre connaissance qu'à une seule reprise dans la littérature.

Présentation du cas : Une femme de 39 ans se plaint à deux reprises, après deux plongées successives à maximum 30 mètres, d'une perte de la vision centrale et de scotomes scintillants périphériques accompagnés de céphalées, ainsi que de paresthésies mal systématisées au niveau de l'extrémité supérieure droite. Connue pour une migraine avec aura se présentant de manière similaire, à l'exception des paresthésies, la plongeuse ainsi que le personnel du centre de plongée informé de l'événement minimisent la situation. Ce n'est que plus tard qu'il lui est conseillé d'effectuer des examens à la recherche d'un FOP. Une échocardiographie transthoracique avec test aux microbulles semble initialement confirmer ce diagnostic. La patiente demande pourtant un second avis. Une échocardiographie transoesophagienne fait plutôt suspecter une veine cave supérieure gauche persistante (PLSVC) se jetant dans le cœur gauche, ce qui sera confirmé par un scanner cardiaque.

Discussion/Conclusion : La PLSVC est une anomalie vasculaire rare, surtout en cas d'abouchement dans le cœur gauche. Nous sommes alors en présence d'un shunt droite-gauche, le plus souvent asymptomatique. Elle peut être confondue avec un FOP en cas d'injection du membre supérieur gauche lors du test aux microbulles. Les embolies paradoxales sont possibles, pouvant aboutir à un ADD après une plongée saturante. Cette situation n'a à notre connaissance été décrite qu'une seule fois dans la littérature (Blokland et coll. 2019).

O44-Accidents de plongées à expression cérébrale : Étude d'une série hospitalière

Mariam Messelmani¹, Nesrine Kouki¹, Raja Ben Sassi², Malek Mansour¹, Jamel Zaouali¹, Hedi Gharsallah², Ridha Mrissa¹

1 Service de neurologie, Hôpital militaire de Tunis

2. Service de médecine hyperbare, Hôpital militaire de Tunis

Introduction : Les accidents de plongée sont responsables de lésions spécifiques des différents organes. L'atteinte neurologique se traduit principalement par des lésions médullaires. Toutefois, l'atteinte cérébrale qu'elle soit ischémique ou hémorragique est rarement décrite.

Objectifs : Étudier le profil clinique et les circonstances de survenue des lésions cérébrales dans les accidents de plongée ainsi que les caractéristiques radiologiques de ces lésions.

Méthodes : Nous avons mené une étude rétrospective de 2011 à 2021 au service de neurologie de l'hôpital militaire de Tunis incluant les patients victimes d'accident de plongée et ayant une atteinte cérébrale au bilan lésionnel. Nous avons recueilli les données épidémiologiques et cliniques relatives à l'incident. Nous avons ensuite collecté et étudié les données radiologiques de l'IRM cérébrale.

Résultats : Nous avons colligé 8 patients de sexe masculin. L'âge moyen était de 39,5 ans. Ils avaient une ancienneté moyenne dans la plongée de 9,75 ans. L'accident a eu lieu à une profondeur moyenne de 71,7 mètres pour une durée de plongée de 31,5 minutes. L'absence de respect des règles de décompression a été retrouvée chez 7 patients sur 8. L'atteinte cérébrale était associée à des lésions médullaires chez nos patients. Les manifestations cliniques sont survenues après un délai de 30 minutes et ont inclus un déficit moteur à type d'hémiplégie (1 cas), monoparésie brachiale (2 cas), une paraparésie (3 cas) et une tétraparésie (2 cas). Les troubles sensitifs étaient à type d'hémi-hypoesthésie (1 cas) et de niveau sensitif dorsal (7 cas). À l'IRM cérébrale, nous avons objectivé respectivement des lésions ischémiques semi-récemment dans le territoire de l'ACM gauche (1 cas), au niveau du splénum du corps calleux (5 cas), occipitale (1 cas) et des lésions sous-corticales fronto-temporales et insulaires.

droite (1 cas).

Discussion : Les lésions du système nerveux central dans les accidents de plongées sont secondaires à différents mécanismes pathologiques dont la majorité est imputée à un processus de décompression. En effet, il y aura une cascade de réactions inflammatoires responsable d'une hypercoagulation et d'une altération de la perméabilité vasculaire avec pour conséquence des lésions cérébrales ischémiques telles retrouvées chez nos patients. Ceci suggère le rôle de la plongée dans la genèse d'événements thrombotiques artériels.

Conclusion : L'atteinte cérébrale dans les accidents de plongée est souvent associée à une lésion médullaire soulignant une souffrance globale du système nerveux central.

O45-Accident de désaturation récurrent

Dr Mathias FANIEL
CHR Liège, Belgique

Introduction : Lors d'accidents de désaturation récurrents, il est important de chercher les causes favorisantes dans la pratique du plongeur et dans sa physiologie propre. Un encadrement médical strict est par la suite nécessaire. Le défaut de formation et de législation spécifique en Belgique expliquent une errance de ces patients.

Cas clinique : Un patient se présente pour éruption cutanée après la seconde plongée récréative de la journée. Au vu du livedo racemosa, il est référé en cardiologie. L'exploration montre un foramen ovale largement perméable avec 20 bulles par cycle. Après d'autres récurrences, le patient consulte l'hyperbariste pour avis 2 ans plus tard. L'analyse de la pratique et de l'ordinateur de plongée et des profils de plongée montreront divers facteurs favorisant : pas de préprogrammation, pas de respect de la vitesse de remontée, pas de sécurité incrémentée dans l'ordinateur, plongées successives avec intervalle de surface minimales. Après explications et définitions de limites strictes de type "no bubble", le patient a poursuivi la plongée et n'a plus présenté de récurrence d'accident à ce jour.

Discussion : Les cutis marmorata regroupent historiquement divers types d'éruptions cutanées liées à la plongée. Actuellement ce terme désigne souvent le livedo racemosa. Deux modèles physiopathologiques coexistent. D'une part, un accident de désaturation purement cutané, engendrant une production de bulles in situ (Garcia et Mitchell, 2020). D'autre part, un accident de désaturation central secondaire à un shunt droite-gauche, le plus souvent un foramen ovale perméable, perturbant les régulations de vascularisation cutanée. Un shunt gauche-droite est retrouvé dans 80 % des cas et 95 % sont d'origine intracardiaque. (Germonpré et coll. 2015 ; Kemper et coll. 2015 ; Hartig et coll. 2020). Le doppler transcrânien est l'examen de choix de par sa facilité et son innocuité pour détecter ces shunts, l'ETO caractérisera dans un second temps un FOP éventuel. La poursuite de la plongée sous conditions strictes relève ensuite de la médecine personnalisée. Un délai de 2 ans s'écoule pour ce plongeur entre la découverte du FOP et une adaptation de sa plongée. En cause, l'absence de législation et la reconnaissance de la médecine de plongée en Belgique, majorant les risques pour les plongeurs.

Mots clés : cutis marmorata, foramen ovale perméable, accident de décompression récurrent

Références : Garcia E, Mitchell SJ. Bubbles in the skin microcirculation underlying cutis marmorata in decompression sickness: Preliminary observations. *Diving and Hyperbaric Medicine* 2020, 50: 173-176.

Germonpre P, Balestra C, Obeid G, Caers D. Cutis Marmorata skin decompression sickness is a manifestation of brainstem bubble embolization, not of local skin bubbles. *Medical Hypotheses* 2015, 85: 863-869.

Hartig F, Reider N, Sojer M, Hammer A, Ploner T, Muth CM, Tilg H and Köhler A. Livedo Racemosa – The Pathophysiology of Decompression-Associated Cutis Marmorata and Right/Left Shunt. *Frontiers in physiology* 2020, 11: 1-8.

Kemper TCPM, Rienks R, van Ooij PJAM, van Hulst RA. Cutis marmorata in decompression illness may be cerebrally mediated: a novel hypothesis on the aetiology of cutis marmorata. *Diving and Hyperbaric Medicine* 2015, 45: 84-87.

RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS

MANUSCRIT:

Le manuscrit soumis pour publication sera adressé, à l'Editeur du Bulletin (Dr JC ROSTAIN – C2VN Section 5, Faculté de Pharmacie, Campus Timone, 27 Bd J. Moulin - Marseille 13005 Marseille), avec les tableaux, figures, annexes et résumés (total de 10 pages maximum, sauf accord préalable) de préférence par courriel à jean-claude.rostain@univ-amu.fr

Le texte sera écrit en français, en Times New Roman 12, simple interligne, texte justifié, début de paragraphe sans retrait, saut d'une ligne entre chaque paragraphe. Les pages seront numérotées dès la page de titre (pagination automatique Word). Les titres seront précédés et suivis d'un saut de ligne. Pas de ponctuation en fin de titre.

Eviter les caractères italiques, les soulignements et les notes de bas de page. Seules les abréviations internationales connues peuvent être utilisées. En ce qui concerne les signes peu courants, il faudra signaler leur justification, entre parenthèses, la première fois qu'ils apparaîtront dans le texte.

Un bref résumé de l'article en français et en anglais avec un titre en anglais, sera joint au manuscrit (150 mots ou 1000 caractères espaces compris pour chacun des résumés).

Chaque manuscrit devra comporter :

- les noms exacts et les prénoms des auteurs, ainsi que leurs adresses complètes avec l'e-mail du premier auteur,
- le nom et l'adresse de l'hôpital, du centre ou de l'institut où a été réalisé le travail,
- le titre et le résumé en anglais, l'introduction, les matériels et méthode, les résultats, la discussion, les références, le résumé en français et un titre courant.

REFERENCES:

Les citations dans le texte se feront entre parenthèses de la façon suivante :

- 1 auteur : (Bennett 1975)
- 2 auteurs : (Rostain et Naquet 1974)
- 3 auteurs et plus : (Brauer et coll. 1974)

Les références bibliographiques seront présentées par ordre alphabétique :

- pour un mémoire dans une revue scientifique : 1/ le nom de tous les auteurs et les initiales de leurs prénoms ; 2/ le titre intégral du mémoire dans la langue originale ; 3/ le nom du journal (abrégé selon les normes internationales) ; 4/ l'année de parution ; 5/ le tome ; 6/ la première et la dernière page, le doi, Epub et le PMID s'ils existent.
- pour un livre : 1/ le nom de tous les auteurs et les initiales de leurs prénoms ; 2/ le titre de l'ouvrage ; 3/ le numéro d'édition à partir de la seconde édition ; 4/ le nom de la maison d'édition ; 5/ la ville ; 6/ l'année de parution ; 7 / le nombre de pages
- pour un article dans un livre : 1/ le nom de tous les auteurs et les initiales de leurs prénoms ; 2/ le titre intégral de l'article ; 3/ le nom de l'éditeur ; 4/ le titre de l'ouvrage ; 5/ le numéro d'édition à partir de la seconde édition ; 6/ le nom de la maison d'édition ; 7/ la ville ; 8/ l'année de parution ; 9/ le nombre de pages

Exemples

REVUE :

Rostain JC, Gardette B, Naquet R. Effects of exponential compression curves with nitrogen injection in man. J Appl Physiol 1987, 63 : 421-425. doi: 10.1152/jappl.1987.63.1.421.PMID: 3624144

Blatteau JE, David HN, Vallée N, Meckler C, Demaistre S, Risso JJ, Abraini JH. Cost-efficient method and device for the study of stationary tissular gas bubble formation in the mechanisms of decompression sickness. J Neurosci Methods. 2014, 236: 40-43. doi: 10.1016/j.jneumeth.2014.07.010. Epub 2014 Jul 23. PMID: 25064190

LIVRE :

Jannasch HW, Marquis RE, Zimmerman AM, (eds). Current perspectives in High Pressure Biology. Academic Press, London. 1987, 341 p.

ARTICLE DANS UN LIVRE :

Rostain JC, Lemaire C, Naquet R. Deep diving, neurological problems. In : P. Dejours, (ed). Comparative physiology of environmental adaptations. Karger, Basel. 1987, p 38-47.

ILLUSTRATIONS:

Ne fournir que des photographies, des figures et schémas aux dimensions prévues pour la publication ou des reproductions de bonne qualité sur ordinateur. Envoyer les figures au format JPEG.

Tenir compte du degré de réduction avant de fixer la dimension des lettres figurant sur le dessin.

Les schémas et illustrations seront numérotés en chiffres arabes. Les tableaux seront notés en chiffres romains. En ce qui concerne la radiologie, ne fournir que d'excellents tirages.

Dactylographier sur une feuille à part les légendes des figures. Légendes et figures sont a envoyés séparées du texte. séparées du texte.

SOMMAIRE

Effets du co2 sur la survenue des accidents de désaturation.
Revue de la littérature.
L Daubresse, N Vallee, A Druelle, J Morin, R Roffi, O Castagna,
R Guieu, JE Blatteau.. 1-12.

3^{ème} congrès international scientifique francophone,
Médecine Subaquatique et Hyperbare, Hammamet, Tunisie
Mai 2023
Résumés 13– 53.