Activité de recherche en médecine de la plongée

J.-É. Blatteau[a], C. Robinet[e], E. Gempp[b], P. Louge[b], S. De Maistre[b], J.-M. Pontier[c], C. Pény[d], M. Hugon[b], J.-J. Risso[a]

a Équipe résidente de recherche subaquatique opérationnelle de l'Institut de recherche biomédicale des armées, BP600 – 83800 Toulon Cedex 9.
b Service de médecine hyperbare et expertise plongée de l'HIA Sainte-Anne BP600 – 83800 Toulon Cedex 9.
c Cellule École de plongée de l'antenne médicale Saint-Mandrier du CMA de Toulon, BP 311 – 83800 Toulon Naval Cedex 9.
d Cellule plongée humaine et intervention sous la mer de la Force d'action navale – 83800 Toulon Cedex 9.
e Centre de formation en médecine navale de l'EVDG, 83800 Toulon Cedex 9.

Résumé

La plongée militaire totalise 2 200 personnels dont certains sont spécialisés en opérations de déminage ou en contre-terrorisme maritime. En parallèle, la plongée civile s'est considérablement développée ; de nombreux accidents surviennent malgré le respect des procédures et de nouvelles entités cliniques émergent. Ainsi la médecine de la plongée civile ou militaire suscite de nouvelles interrogations à l'origine d'une activité de recherche importante. Cette activité est menée de manière collaborative par l'Équipe résidente de recherche subaquatique opérationnelle de l'IRBA, le Service de médecine hyperbare et expertise plongée de l'HIA Sainte-Anne et la Cellule plongée humaine et intervention sous la mer de la FAN, et associée à des partenaires universitaires et industriels. Les actions menées concernent principalement l'étude de la décompression, de l'effet des gaz, la physiologie de l'immersion de longue durée. L'activité de recherche en médecine de la plongée a pour finalité une application opérationnelle immédiate illustrée par le développement de procédures pour le sauvetage des sous-marins. Par l'intérêt civil majeur associé, elle constitue un exemple de recherche duale.

Mots-clés : Accidents de plongée. Décompression. Immersion. Médecine de la plongée. Recherche.

Abstract

Research in diving medicine.

The French army has 2 200 divers including specialists such as mine clearance divers and combat swimmers involved in maritime counterterrorism. Recreational diving has grown considerably; numerous accidents occur despite the application of procedures and new clinical entities emerge. Both military and recreational diving medicines raise questions at the origin of significant research conducted in a collaborative manner with the Team of Underwater and Operational Research from IRBA, the Department of Hyperbaric Medicine from Ste Anne Hospital and the Team of Human Diving and Underwater Interventions from FAN, as well as academic and industrial partners. Actions relate mainly to the study of decompression, the effect of gas and the physiology of long term immersion. Research activities in diving medicine are carried out for immediate operational applications, illustrated by the development of submarine rescue procedures. Because it is of major interest for the civilian world, it is an example of dual research.

Keywords : Decompression. Diving accidents. Diving medicine. Immersion. Research.

Introduction

Un pôle d'expertise et de recherche sur la thématique « subaquatique et hyperbare » existe depuis de plus d'un demi-siècle à Toulon dans le domaine militaire et à Marseille au niveau universitaire et industriel, à travers différents organismes qui se complètent et qui sont amenés à travailler ensemble. Jusqu'à la fin des années 80,

J.-É. BLATTEAU, médecin en chef, praticien certifié. C. ROBINET, médecin en chef, praticien certifié. E. GEMPP, médecin en chef, praticien certifié. P. LOUGE, médecin en chef, praticien certifié. S. DE MAISTRE, médecin principal, praticien certifié. J.-M. PONTIER, médecin en chef, praticien certifié. C. PÉNY, médecin en chef, praticien certifié. M. HUGON, médecin chef des services, praticien certifié. J.-J. RISSO, chargé de recherche, ICT.
Correspondance : Monsieur le médecin en chef J.-É. BLATTEAU, IRBA/ERSSO, BP 610 – 83800 Toulon Cedex 9.
E-mail : jean-eric.blatteau@sante.defense.gouv.fr

la course aux records de plongée profonde battait son plein avec les succès que l'on connaît à la suite de la collaboration Marine-Comex, avec l'appui de chercheurs du Service de santé des armées (SSA). Aujourd'hui en raison des progrès de la robotique et des moyens sous-marins, l'incursion humaine à grande profondeur n'est plus une priorité. En revanche, la plongée civile et professionnelle s'est considérablement développée, et l'on se rend compte que les accidents persistent malgré le respect de procédures préventives et que de nouvelles entités cliniques émergent. Ainsi la pratique de la plongée est responsable d'une accidentologie qui suscite de nouvelles interrogations à l'origine de nombreuses études comme en témoigne la production importante d'articles scientifiques indexés et de thèses de sciences dans ce domaine.

Les principaux acteurs dans le cadre militaire sont représentés par :

– l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA), avec l'Équipe résidente de recherche subaquatique opérationnelle (ERRSO) qui est l'« héritière » du Centre d'études et de recherches biophysiologiques appliquées à la Marine (CERB) de 1959 à 1993, fondé par Henri Laborit (fig. 1) (1), puis l'Institut de médecine navale du Service de santé des armées (IMNSSA) de 1993 à 2009 ;

– Le Service de médecine hyperbare et expertise plongée (SMHEP) de l'Hôpital d'instruction des armées (HIA) Sainte-Anne qui comprend une activité clinique (traitement des accidents de plongée et hyperbarie médicale) et une activité d'expertise médicale pour le personnel plongeur civil et militaire ;

– la Cellule plongée humaine et intervention sous la Mer (CEPHISMER), organisme de la Marine nationale dépendant de la Force d'action navale (FAN), anciennement GERS puis GISMER, qui regroupe la réglementation de la plongée pour la Marine en particulier la sécurité médicale, les études sur l'ensemble du matériel spécifique et les procédures pour la plongée. Cet organisme possède un centre hyperbare « 500 mètres » ayant un agrément du ministère de la santé pour mener des études sur l'homme en milieu hyperbare (fig. 2) ;

– il faut également citer les unités opérationnelles du Commando Hubert basé à Saint-Mandrier, employant des nageurs de combat et le Groupe de plongeurs démineurs méditerranée à Toulon. La formation de l'ensemble des plongeurs militaires est assurée par l'École de plongée de Saint-Mandrier, avec des formations complémentaires spécifiques à Antibes pour la Gendarmerie et à Angers pour l'armée de Terre ;

– la Préfecture maritime qui représente « l'Action de l'État en mer », est directement impliquée par la prévention et la sauvegarde de la vie humaine en mer, avec notamment l'organisation et la prise en charge des secours en Méditerranée.

À noter que l'ERRSO, le SMHEP, la CEPHISMER et le Commando Hubert possèdent actuellement un agrément valide comme lieu de recherches biomédicales.



Figure 1. Henri Laborit tient une place toute particulière dans l'histoire de la recherche du Service de santé des armées, en effet il est à l'origine du Centre d'études de recherches biophysiologiques appliquées à la Marine, dont il obtient la création en 1959. Avec trois jeunes assistants (Bernard Broussolle, Jean Drouet et François Brue), il initie, les études sur la physiologie de la décompression, sur la toxicité de l'oxygène et sur la pharmacologie d'un analgésique original, le gamma hydroxybutirate de sodium.



Figure 2. Centre hyperbare de la CEPHISMER.

Politique scientifique

La plupart des activités de recherche dans le domaine de la plongée sont menées de manière collaborative entre la

Marine et le SSA par l'intermédiaire de ERRSO. Cette structure, créée le 1er juillet 2011 (2), est composée de huit personnels permanents et localisée au niveau du pavillon Tribondeau de l'Îlot Sainte-Anne. L'ERRSO est actuellement l'une des deux unités du département « Environnements opérationnels » de l'IRBA. Parmi ses missions, figurent au premier plan les études en rapport avec les besoins opérationnels exprimés par la Marine et les autres États-Majors, notamment lors de la Commission d'échanges et d'expertises technico-opérationnelle (CEETO). Mais le rôle de l'unité consiste également à prendre en compte les besoins propres du SSA, ainsi qu'à anticiper et susciter des recherches liées à la prévention des risques relatifs aux activités opérationnelles dans le milieu subaquatique.

Cette structure, intégrée dans la dynamique plongée de l'aire toulonnaise, est en relation directe avec les donneurs d'ordre (ALFAN, ESNA, ALAVIA,…) et avec le consultant national pour la plongée militaire. Elle constitue une unité de lieu avec le milieu de la plongée (CEPHISMER, Commando Hubert, École de plongée…) et l'activité clinique (centrée sur le pôle hyperbare de l'HIA Sainte-Anne). Elle bénéficie de ce fait, de l'accès aux infrastructures et au plateau technique spécifiques existant sur le site (Centre hyperbare de la CEPHISMER CH 500, Caisson thérapeutique de l'HIA Sainte-Anne…). L'un des atouts de l'ERRSO est de proposer un partenariat local avec des équipes cliniques et des équipes de recherche étoffées, capables d'assurer une recherche « amont » de haut niveau dans les domaines des environnements extrêmes. Outre son activité propre, l'ERRSO, a pour vocation d'offrir son plateau technique pour des « campagnes » d'études ponctuelles assurées par les équipes de recherche de l'IRBA et les équipes universitaires civiles.

Domaines d'études

L'Armée française compte actuellement 2 200 plongeurs militaires. La plongée militaire se déploie à travers de nombreuses activités qui vont de l'entretien des coques des bâtiments de guerre à la reconnaissance ou la neutralisation d'objectifs tactiques. Elle emploie de nombreux personnels spécialisés comme les plongeurs démineurs (experts en travaux sous-marins et en opérations de déminage) ou les nageurs de combat (chargés de missions de renseignement ou de contre-terrorisme maritime). Au sein de la population de plongeurs militaires, on dénombre chaque année dix à vingt accidents de plongée, en majorité représentés par les accidents de décompression. Chaque accident fait l'objet d'un double compte-rendu opérationnel et médical auprès de la CEPHISMER qui incrémente une base de données permettant de réaliser des études cliniques et épidémiologiques.

Le SMHEP de l'HIA Sainte-Anne à Toulon traite également plus d'une centaine de cas d'accidents de plongée civils chaque année, ce qui le place au premier plan des centres hyperbares européens dans ce domaine. Les accidents de décompression, en particulier neurologiques, sont les plus fréquents et les plus graves avec 20 à 30 % des patients qui présentent des séquelles à l'issue de leur prise en charge (3). Les observations médicales et résultats para-cliniques sont systématiquement enregistrés sur une base de données standardisée afin de mieux exploiter les données recensées. Les principaux domaines de recherche appliquée concernent l'analyse des facteurs de risque et de récidive des accidents de décompression et des œdèmes pulmonaires d'immersion qui font régulièrement l'objet de publications scientifiques (4, 5). Le service travaille en étroite collaboration avec des laboratoires de recherche civils (universités de Marseille, Brest et Besançon) qui s'intéressent aux mécanismes physiopathologiques de survenue de ces accidents (microparticules circulantes, marqueurs de stress).

Le sauvetage de sous-marin fait également appel à une prise en charge hyperbare dans le cadre du dispositif européen du *Nato Submarine Rescue System* (NSRS). Le choix de la procédure de décompression pour ramener en surface un équipage de sous-marin sous pression et saturé à l'air est une question complexe. Il existe, en effet, un risque important de toxicité pulmonaire de l'oxygène pouvant compromettre le bon déroulement de la décompression. La validation d'une table de décompression à l'air est une priorité pour la Marine, afin de limiter à la fois le risque de toxicité pulmonaire et le risque d'accident de décompression.

Les études sur la problématique de la décompression sont un objectif prioritaire, avec une application opérationnelle militaire immédiate. Par l'intérêt civil majeur associé, elle constitue l'exemple d'une étude duale.

En fonction du type de mélange gazeux respiratoire utilisé en plongée, les plongeurs militaires peuvent être soumis d'une part aux effets toxiques de l'oxygène, utilisé pur ou en mélange hyperoxique (nageurs de combat), d'autre part aux effets de la narcose aux gaz inertes (plongeurs démineurs). En outre, l'équipage d'un sous marin en détresse victime d'une voie d'eau, pourra être exposé, pendant plusieurs jours, à une atmosphère d'air comprimé jusqu'à 0,6 MPa, avant l'intervention du NSRS sur le lieu de l'accident. Il sera ainsi également soumis aux risques narcotiques et hyperoxiques. L'équipage de secours du NSRS sera lui aussi exposé au même risque narcotique, et donc au risque de dégradation de la performance cognitive, ce qui est critique pour la sécurité de sa mission.

Il est donc nécessaire d'étudier les effets pharmacologiques des gaz inertes (narcose) sur la performance cognitive, ainsi que la toxicité nerveuse (aigüe) et pulmonaire (chronique) de l'oxygène.

À l'opposé, les effets bénéfiques de l'oxygène, ainsi que les effets neuroprotecteurs des gaz inertes (argon, xénon, protoxyde d'azote, hélium et même hydrogène) méritent d'être étudiés de façon détaillée, car ces propriétés pourraient conduire à des applications opérationnelles et cliniques très prometteuses (notion « d'inhalothérapeutique »).

Les plongeurs militaires sont tous exposés à un environnement extrêmement contraignant pour

l'organisme : l'immersion. D'un point de vue physique, l'immersion s'accompagne d'une redistribution majeure des liquides de l'organisme. Celle-ci conduit inexorablement à une baisse du volume plasmatique ainsi qu'à une réduction des performances physiques et cognitives des plongeurs. Sur le plan thermique, les échanges entre le plongeur et son environnement sont extrêmement importants. Si le risque d'hypothermie en eau froide est bien documenté, le risque d'hyperthermie d'effort en eau chaude est encore sous-estimé. L'immersion impose à l'organisme des plongeurs des contraintes d'autant plus importantes que la durée de celle-ci s'accroît. Rappelons, enfin, que les plongeurs militaires exécutent des exercices physiques (parfois intenses) au cours ou au décours immédiat de l'immersion, qu'ils utilisent des appareils respiratoires imposant des contraintes mécaniques et thermiques non négligeables, et qu'ils respirent souvent des mélanges suroxygénés. À ce jour, peu de travaux scientifiques ont pris en compte, de manière intégrative, l'ensemble des contraintes environnementales liées à l'immersion des plongeurs militaires. Pourtant, leur compréhension permettrait de réduire la survenue d'accident de décompression. Les nageurs de combat de Forces Spéciales ont recours à des propulseurs sous-marins « humides », avec pour conséquence pour leur personnel, la nécessité d'immersions de longue durée dans des eaux de températures variées. Dans le cadre de la prochaine mise en service du propulseur sous-marin de nouvelle génération (PSM 3G), les modifications techniques nouvellement apportées permettent une augmentation significative d'autonomie. Les nageurs de combat du Commando Hubert seront alors susceptibles d'effectuer des Immersions de très longues durées (ITLD), égales ou supérieures à 12 heures, dans une large gamme de températures d'eau.

L'étude de la physiologie de l'immersion de très longue durée à différentes températures est donc essentielle pour les Forces, afin de leur proposer des mesures argumentées pour prévenir ou minimiser les risques liés aux profondes modifications physiologiques induites par ces conditions opérationnelles.

Les actions menées forment ainsi un triptyque naturel : étude de la décompression, étude de l'effet des gaz, et physiologie de l'immersion de longue durée. Ces missions principales au service des Forces, dans le domaine de la plongée et de l'immersion, s'inscrivent dans le cadre de problématiques définies par la Directive d'orientation des recherches du SSA concernant le maintien des besoins capacitaires Santé. Elles sont décrites au sein du projet fédérateur « Santé du Militaire en Opération » et, plus particulièrement, dans son deuxième objectif : « *Préservation et maintien de l'efficience du combattant en environnements opérationnels* » et l'objectif élémentaire : « *Réduire les effets sur la santé des environnements opérationnels particuliers* ».

Elles concernent essentiellement la compréhension des phénomènes de saturation/désaturation des mélanges gazeux, la prise en charge thérapeutique et la prévention des accidents de décompression, l'étude de la toxicité des gaz sous pression, le développement de nouvelles approches thérapeutiques, et la tolérance physiologique aux immersions prolongées en environnements extrêmes.

Exemples de réponses aux besoins des Forces

Nous proposons aux lecteurs quelques exemples de projets de recherche et d'expertise qui répondent aux besoins des Forces, principalement exprimés lors des CEETO ou faisant l'objet de demandes spécifiques.

Problématique de l'immersion

« Physiologie de la nage en eau chaude »

Question : comment limiter la baisse des performances opérationnelles des plongeurs militaires lors d'approche par palmage en eau chaude ?

Réponse : le palmage de 2 h, dans une eau à 29 °C, chez des plongeurs militaires portant tout leur équipement et respirant à l'aide d'un recycleur à circuit fermé, induit une détérioration notable de l'équilibre hydrominéral et thermique des sujets pouvant conduire à une hyperthermie d'effort (fig. 3).

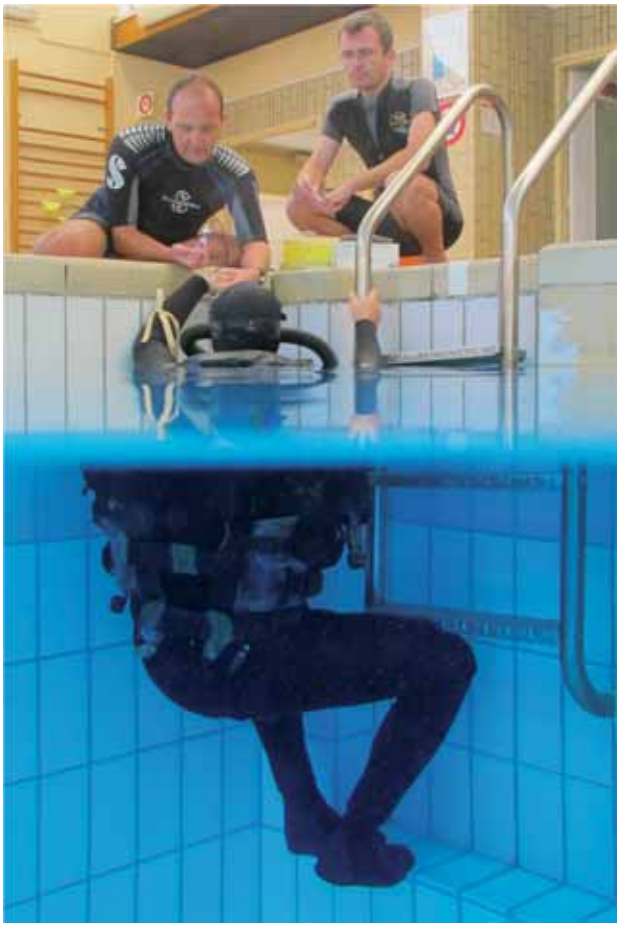


Figure 3. Étude en eau chaude, prélèvement sanguin d'un nageur de combat équipé.

Recommandation : permettre l'hydratation des plongeurs. Prévoir des modifications des combinaisons de plongée et des appareils respiratoires. Rédaction d'un rapport technique à l'attention des forces : « Physiologie de la nage opérationnelle en eau à 29 °C : Effet de l'exercice de palmage sur le statut hydrominéral » (6). Réalisation de combinaisons de plongée à contention active (Mission Innovation en cours).

« Immersion prolongée (12 h) » :

Question : est-il possible d'envisager des immersions de 12 h chez des plongeurs militaires ?

Réponse : les immersions de 8-10-12 h réalisées chez 23 sujets ont montré chez des sujets très entraînés, et débutant leurs immersions dans des conditions optimales (absence de privation de sommeil, bonne hydratation, température d'eau tempérée…), qu'aucun signe alarmant pour l'intégrité des plongeurs ne survenait (fig. 4).



Figure 4. Immersion très longue durée, nageur de combat réalisant des tests cognitifs.

Recommandation : permettre l'hydratation des plongeurs. Prévoir des modifications des combinaisons de plongée et des appareils respiratoires. Rédaction de deux rapports techniques à l'attention des forces : « Surveillance des fonctions physiologiques vitales des nageurs de combat lors d'immersions de 8 et 10 heures en eau à 18 °C » et « Surveillance des fonctions physiologiques vitales des nageurs de combat lors d'immersions de 12 heures en eau à 18 °C ». Réalisation d'un dispositif d'hydratation inséré dans l'embout buccal des appareils de plongée (CAVADHYST, prix de l'Audace 2010).

Problématique de la décompression

Facteurs de survenue des accidents de décompression

Question : la présence d'un shunt droite-gauche est-elle un facteur de risque de survenue des accidents de décompression chez le plongeur militaire ?

Réponse : recherche de shunt droite-gauche par Doppler transcrânien avec analyse quantitative du passage de contraste (microbulles). Étude rétrospective sur une période de 14 ans portant sur un « groupe accidenté » de 93 plongeurs militaires (comprenant 79 accidents de décompression neurologiques et 14 cochléo-vestibulaires) et un groupe « contrôle » non accidenté de 275 candidats plongeurs ayant bénéficié d'une recherche de shunt (7).

Résultats : une association significative entre la présence d'un shunt droite-gauche et la survenue d'un accident de décompression est constatée avec 49,5 % de shunts dans le groupe « accidenté » versus 27,3 % dans le groupe contrôle. Cette association est plus marquée pour les larges shunts (OR à 3,3). Mise en place d'un GT aptitude plongée, discussion sur l'intérêt d'un dépistage systématique du shunt droite-gauche chez le plongeur militaire.

« Effets à long terme de la plongée sur le cerveau »

Question : existe-il des lésions cérébrales chez le plongeur militaire non accidenté, qui pourraient être favorisées par le passage de bulles artérielles ?

Réponse : réalisation d'IRM cérébrales 3 T pour rechercher des signaux hyperintenses de la substance blanche, avec en parallèle, la recherche d'un shunt droite-gauche par Doppler transcrânien. Étude « cas témoins » sur 32 plongeurs militaires sans antécédent d'accident de plongée versus 32 sujets non plongeurs, appariés en âge et facteurs de risque cardio-vasculaire (8).

Résultats : don constate d'avantage d'hypersignaux (prédominance fronto-pariétale) chez les plongeurs (43,7 %) par rapport aux non plongeurs (21,8 %), en particulier chez ceux qui ont un large shunt droite-gauche (OR = 9), ce qui évoque un lien avec la plongée (passage de bulles artérielles). L'impact clinique de ces anomalies IRM reste cependant à déterminer. Mise en place d'un GT aptitude plongée.

« Compréhension des mécanismes et évaluation de traitements neuroprotecteurs dans le modèle animal de l'accident neurologique de décompression » :

Question : peut-on améliorer la compréhension de la physiopathologie des accidents de décompression neurologique et surtout proposer de nouvelles approches thérapeutiques en complément de l'oxygène hyperbare pour limiter le risque de séquelles ?

Réponse : développement de deux modèles expérimentaux d'accident de décompression chez le rat et la souris. Évaluation des modifications immuno-inflammatoires plasmatiques observables dans l'accident de décompression. Évaluation de plusieurs thérapeutiques médicamenteuses sur ces deux modèles en se basant sur une analyse clinique et biologique.

Résultats : aucun effet clinique bénéfique n'a été constaté avec l'érythropoétine, l'atorvastatine, le riluzole, ou le sildenafil (9). En revanche réduction très significative de l'incidence des accidents de décompression avec la fluoxétine (10). Ce résultat ouvre une perspective de recherche clinique chez l'homme, et

est actuellement complété par d'autres études chez l'animal afin de déterminer les mécanismes d'action bénéfiques dans l'accident de décompression.

« Développement d'un marqueur clinique de l'abrasion bullaire dans l'accident de décompression » :

Question : la mesure d'ADN circulant peut-elle être utilisée comme un marqueur biologique corrélé à la formation des bulles vasculaires et/ou à la sévérité clinique dans l'accident de décompression ?

Réponse : mise en place et validation d'une technique de dosage de l'ADN circulant d'origine mitochondriale, à partir de prélèvements plasmatiques.

Résultats : démonstration sur le modèle animal d'accident de décompression que le taux d'ADN circulant est corrélé à la formation des bulles et à la sévérité clinique (11). Transfert de technologie à la clinique humaine en cours, pour la vérification des résultats sur des sujets accidentés au centre hyperbare de l'HIA Sainte-Anne.

« Développement et validation d'une procédure de décompression pour le sauvetage des sous-marins en détresse secourus par le « Nato Submarine Rescue System »

Question : dans le cadre du sauvetage de sous-marins par le Nato Submarine Rescue System, existe-t-il une procédure de décompression qui permettrait de ramener en sécurité à la pression atmosphérique l'équipage du sous-marin en détresse, et le personnel accompagnant chargé de la récupération ?

Réponse : nous avons modélisé et testé une procédure de décompression à l'air capable de ramener à la pression atmosphérique du personnel soumis à une exposition hyperbare de longue durée jusqu'à 6 ATA. Au total, 24 sujets ont séjourné dans le caisson hyperbare de la CEPHISMER pendant 12 heures à des pressions de 5 et 6 ATA puis décomprimés pendant 60 heures. Des explorations de la fonction respiratoire et des mesures de bulles circulantes ont été répétées tout au long de la procédure (fig. 5) (12, 13).

Résultats : nous n'avons pas observé de forme constituée d'accident de désaturation, ni de symptôme sévère de toxicité pulmonaire liée à l'oxygène. Nous disposons maintenant d'une procédure de décompression validée pour le Nato Submarine Rescue System qui permet de ramener en sécurité à la pression atmosphérique l'équipage d'un sous-marin en détresse, et le personnel accompagnant chargé de la récupération. La procédure est enregistrée dans le dispositif NSRS et les standards OTAN. Elle est considérée comme la procédure de premier choix lorsque la pression d'un sous-marin en détresse est élevée (3 à 6 ATA).

Problématique de la narcose

Question : quels sont les effets de la narcose dans le contexte d'un sous-marin pressurisé ?



Figure 5. Séance de détection de bulles circulantes précordiales pendant la procédure de décompression NSRS.

Réponse : connaître l'impact sur le traitement sensorimoteur, de l'exposition d'un équipage à une pression partielle élevée d'azote, situation que subirait cet équipage dans un sous-marin en détresse ou dans le Nato Submarine Rescue System qui viendrait le secourir. Cette situation expose en effet au risque de dégradation de la performance sensorimotrice, fortement préjudiciable à la mission, voire dangereuse pour les personnels eux-mêmes.

Résultats : nous avons montré un effet de la narcose sur les processus décisionnels et plus particulièrement sur l'étape décisionnelle du traitement sensorimoteur de l'information, ce qui n'avait jamais été décrit dans un véritable contexte de narcose (14). Les résultats de cette étude sur le terrain en conditions opérationnelles seront complétés par une étude en conditions de laboratoire avec recueil électro-encéphalographique et électro-myographique.

Conclusion

L'activité de recherche en médecine de la plongée ne se limite pas uniquement au développement de programmes institutionnels, une partie importante relève d'expertises et d'études cliniques faisant suite à des questions soulevées par les forces (via la CEETO) ou les groupes de travail du SSA et de l'OTAN. Cette activité se poursuit actuellement dans les différents domaines opérationnels que sont la problématique NSRS, l'évolution des procédures et des matériels des plongeurs militaires, les missions spécifiques des nageurs de combat avec le PSM 3G. L'activité de recherche en médecine de la plongée a pour finalité une application opérationnelle immédiate et par l'intérêt civil majeur associé, elle constitue un exemple de recherche duale.

Les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt concernant les données présentées dans cet article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Déral-Stéphant V. Henri Laborit, de l'homme à la découverte. Thèse de médecine n°204. UFR Lyon-RTH Laennec, université Claude Bernard Lyon I, soutenue le 7/11/2001.
2. Ministère de la Défense. Décision portant création de l'Équipe résidente en recherche subaquatique opérationnelle n°2675/DEF/DCSSA/OSP/ORG du 22 juillet 2010.
3. Blatteau JE, Gempp E, Simon O, Coulange M, Delafosse B, Souday V, et al. Prognostic factors of spinal cord decompression sickness in recreational diving : retrospective and multicentric analysis of 279 cases. Neurocrit Care. 2011 Aug ; 15 (1) : 120-7. doi : 10.1007/s12028-010-9370-1.
4. Gempp E, Louge P, Lafolie T, Demaistre S, Hugon M, Blatteau JE. Relation between cervical and thoracic spinal canal stenosis and the development of spinal cord decompression sickness in recreational scuba divers. Spinal Cord 2013 Oct 15. doi : 10.1038/s.c.2013.121
5. Gempp E, Louge P, Henckes A, Demaistre S, Heno P, Blatteau JE. Reversible myocardial dysfunction and clinical outcome in scuba divers with immersion pulmonary edema. Am J Cardiol. 2013 Jun 1 ; 111 (11) : 1655-9. doi : 10.1016/j.amjcard.2013.01.339. Epub 2013 Mar 13.
6. Castagna O, Blatteau JE, Vallée N, Schmid B, Nicolas M, Jimenez C, et al. Physiologie de la nage opérationnelle en eau chaude > 29 °C — Opération N° 1 : Effet de l'exercice de palmage sur le statut hydrominéral. Rapport de Recherche IRBA, Brétigny, novembre 2012 : 92.
7. Blatteau JE, Louge P, Gempp E, Pény C, Pontier JM, Demaistre S, et al. Intérêt de la recherche de shunt droite-gauche pour limiter le risque de survenue d'accident de décompression. Annexe au CR du GT Aptitude et Plongée militaire, problématique du shunt droite-gauche du 11/6/2013.
8. Gempp E, Sbardella F, Stephant E, Constantin P, De Maistre S, Louge P, et al. Brain MRI signal abnormalities and right-to-left shunting in asymptomatic military divers. Aviat Space Environ Med. 2010 Nov ; 81 (11) : 1008-12.
9. Blatteau JE, Brubakk AO, Gempp E, Castagna O, Risso JJ, Vallée N. Sildenafil pre-treatment promotes decompression sickness in rats. PLoS One. 2013 Apr 8 ; 8 (4) : e60639. doi : 10.1371/journal.pone.0060639. Print 2013.
10. Blatteau JE, Barre S, Pascual A, Castagna O, Abraini JH, Risso JJ, et al. Protective effects of fluoxetine on decompression sickness in mice. PLoS One. 2012 ; 7 (11) : e49069. doi :10.1371/journal.pone.0049069. Epub 2012 Nov 8. PubMed
11. Vallée N, Gaillard S, Peinnequin A, Risso JJ, Blatteau JE. Evidence of cell damages caused by circulating bubbles : high level of free mitochondrial DNA in plasma of rats. J Appl Physiol (1985) 2013 115 (10) : 1526-1532.
12. Blatteau JE, Hugon J, Castagna O, Meckler C, Vallée N, Jammes Y, et al. Submarine rescue decompression procedure from hyperbaric exposures up to 6 bar of absolute pressure in man : effects on bubble formation and pulmonary function. PLoS One. 2013 Jul 2 ; 8 (7) : e67681. doi : 10.1371/journal.pone.0067681. Print 2013.
13. Blatteau JE, Pény C, Jammes Y, Hugon J, Barbaud A, et al. Validation d'une procédure de décompression pour le « Nato Submarine Rescue System », dans le cadre de plongées humaines en saturation réalisées au centre hyperbare de la CEPHISMER. Rapport de Recherche N°12.06 IRBA, Brétigny, octobre 2012 : 88.
14. Meckler C, Blatteau JE, Schmid B, Risso JJ, Vidal F. Effet de la narcose sur les fonctions exécutives : étude comportementale lors de plongées d'essai à saturation en caisson hyperbare. Rapport de Recherche N°12.03 IRBA, Brétigny, septembre 2012 : 19.



© Marine nationale.