Dernières découvertes relatives à la MDD et à la physiologie de la plongée (2e partie)

Faisant suite au premier article, publié le mois dernier, nous présentons ici les derniers résultats du projet de recherche scientifique PHYPODE dévoilés lors de la conférence de clôture, intitulée «The Science of Diving».

L'une des hypothèses avancées était que l'**endothélium** vasculaire, la paroi interne des vaisseaux sanguins, jouait un rôle essentiel dans la MDD.
F. Guerrero (Laboratoire d'Optimisation des Régulations Physiologiques [ORPhy], Faculté de médecine de Brest, France) s'est penché sur les altérations de la fonction endothéliale après la plongée.
De manière générale, l'endothélium vasculaire régule l'activité vasculaire et la santé cardiovasculaire en libérant des substances qui contrôlent de nombreuses fonctions telles que le débit sanguin, les inflammations, la thrombose, le stress oxydatif, etc. Une perméabilité endothéliale accrue (perte de contact entre les cellules endothéliales microvasculaires et affaiblissement de leur adhésion à la membrane basale) est fréquemment observée chez les patients atteints d'une MDD. Des mesures de la vasodilatation dépendante du flux sanguin (Flow Mediated Dilation, FMD) ont montré que la vasodilatation de l'ensemble des vaisseaux sanguins est réduite lors de chaque plongée. Tant les grands vaisseaux que les microvaisseaux, c.-à-d. le réseau capillaire où se produisent les échanges gazeux, sont altérés après la plongée, et plus encore après une MDD. Les recherches menées sur des plongeurs en apnée (qui ne développent pas de bulles) semblent indiquer que la pression hydrostatique et l'hyperoxie ont cet effet destructeur sur l'endothélium en raison du stress oxydatif et de la mort cellulaire endothéliale qui s'en suit. Étant donné que certains cas de MDD sévère ne s'accompagnent d'aucune altération, on peut conclure que ce n'est pas l'endothélium qui joue un rôle clé, mais bien les facteurs circulants qui en dérivent. L'un d'eux est l'oxyde nitrique (NO), produit par l'endothélium. Le blocage du NO chez des sujets animaux a permis d'identifier des différences liées au sexe : l'incidence de la MDD augmentait chez les femelles, et non chez les mâles. La question de l'influence du sexe sur les mécanismes de la MDD se trouvera dès lors au centre des recherches futures.

Comme on le sait, l'oxygène est un gaz important en plongée. La respiration d'oxygène pur constitue en outre un traitement de premiers secours efficace et couramment utilisé dans le traitement des MDD. Toutefois, l'**oxygène a également des effets négatifs**. Des recherches dans ce domaine ont été menées par J. Kot (Centre national de médecine hyperbare, Faculté médicale de Gdansk, Pologne). Le stress oxydatif est causé par l'effet destructeur des radicaux libres (O2, H2O2, OH) qui sont produits lors d'une réduction incomplète de l'oxygène dans les cellules. Ces radicaux sont des molécules agressives à courte durée d'action qui détruisent les molécules d'ADN, les protéines et les lipides. Heureusement, le corps humain possède un système de défense antioxydant qui maintient un équilibre entre les antioxydants et les radicaux et limite les dommages. Les organes présentant la pression partielle d'oxygène la plus élevée sont les poumons, qui agissent en tant que système de défense de première ligne. L'effet destructeur peut aller jusqu'à provoquer une fibrose des tissus pulmonaires. Le cas échéant, la victime peut souffrir d'une hypoxie, et ce même en respirant de l'oxygène pur. Sur une note plus positive, ce type de stress oxydatif s'applique davantage aux plongeurs « tech » utilisant des mélanges respiratoires à l'oxygène, qu'à la majorité des plongeurs de loisir qui utilisent plutôt du Nitrox, par exemple.

Les recherches menées dans le cadre du projet PHYPODE semblent indiquer qu'il existe forcément une susceptibilité individuelle à la MDD, comme le montrent les études réalisées sur des plongeurs présentant

notamment un shunt pulmonaire (FOP), une production élevée de bulles, différentes caractéristiques endothéliales ou encore une prédisposition génétique. Comme mentionné plus haut, un moyen efficace de réduire le risque de MDD réside dans le « préconditionnement ». Une autre option consiste à développer de nouvelles technologies de plongée et à mettre en œuvre un modèle de décompression révisé, plus complexe, intégrant les données médicales personnelles ainsi que les données de plongée en temps réel.

Le concept de **plongeur bionique**, qui a vu le jour il y a quelques années, repose sur de nouvelles considérations en matière d'algorithme de décompression (adaptation de l'algorithme en fonction des paramètres physiologiques). Celles-ci incorporeront un suivi médical permanent des paramètres physiologiques tels que le rythme cardiaque, l'indice de masse corporelle (IMC) et d'autres données personnelles. L'objectif est le développement d'un ordinateur de plongée ajustable à chaque utilisateur et fournissant, en temps réel, des profils de décompression personnalisés en fonction de la physiologie du plongeur, tout en tenant compte du niveau d'hydratation, de la fatigue et d'une variété d'autres facteurs liés à la façon dont l'organisme réagit au stress de la plongée.

Un ordinateur de plongée Icon HD modifié muni d'un processeur puissant et d'un écran couleur est actuellement en cours de test chez MARES. Celui-ci est capable, entre autres, de recueillir des données avant, pendant et après la plongée, de reconnaître les signes de la narcose à l'azote et d'effectuer des calculs de décompression. Les développements actuels ont été présentés par G. Distefano (responsable produit chez MARES, Gênes, Italie).

La mesure des paramètres physiologiques étant devenue l'un des principaux objectifs de la recherche scientifique en plongée, N. Donda est intervenue pour expliquer les différentes options fournies par un **recycleur**.
Un recycleur est un appareil respiratoire qui recycle l'air expiré en le débarrassant du dioxyde de carbone (CO_2) à travers un circuit fermé constitué de différents éléments, et en y réintégrant la quantité d'oxygène (O_2) qui a été métabolisée par l'organisme. L'air expiré se maintenant au sein du circuit fermé du recycleur, il peut être utilisé pour recueillir des données relatives à la physiologie du plongeur pendant l'immersion. Les chercheurs ont ainsi décidé d'installer plusieurs capteurs afin de mesurer la qualité et la quantité de l'air inspiré et expiré dans les différents espaces aériens de l'appareil. Ont notamment été mesurés : la quantité d'oxygène inspiré/expiré, la quantité de CO_2 expiré, le débit respiratoire, le volume total de gaz respiratoire, la température du gaz inspiré/expiré et le taux d'humidité dans le gaz inspiré. D'autres paramètres ont également été analysés, tels que la profondeur (pression), la durée de la plongée, la position sous l'eau, la fréquence des coups de palmes, le rythme cardiaque, ainsi que la vitesse de descente et de remontée du plongeur. Les chercheurs ont testé la fiabilité des capteurs et ont converti les valeurs obtenues en données exploitables avant de les transférer de façon électronique ou sans fil vers une unité de stockage disposant d'une mémoire suffisante.

Au fil des avancées en médecine de la plongée, de nouvelles découvertes relatives aux mécanismes de la décompression voient le jour. Jusqu'à présent, en raison de l'absence d'une technologie de capteur appropriée, les données physiologiques des plongeurs ont uniquement pu être recueillies en laboratoire ou avant / après la plongée, mais jamais pendant une immersion. Arne Sieber (chercheur scientifique chez IMEGO AB, Gothenburg, Suède) a développé une nouvelle technologie de capteur permettant de surveiller l'**ECG et la température corporelle** pendant l'immersion. Des données relatives au métabolisme du plongeur ont également pu être recueillies à l'aide d'un recycleur à circuit fermé afin de mesurer l'oxygène, le CO_2, le rythme respiratoire, le volume courant, le volume respiratoire par minute et la tension artérielle.
Le composant principal de cette approche de plongeur bionique ou numérique sera un nouvel ordinateur de plongée doté d'une interface sans fil permettant la connexion de plusieurs capteurs, et d'un

microprocesseur puissant capable de réaliser des calculs de décompression extensifs. Un tel système est à présent utilisé à des fins militaires uniquement, mais sera bientôt disponible au grand public dans toutes sortes de systèmes.

En résumé, le projet de recherche PHYPODE a fourni un nombre considérable de données d'une grande qualité permettant d'approfondir les connaissances actuelles. Il a également apporté la preuve du bien-fondé de nombreux comportements que les plongeurs adoptent intuitivement, sans savoir pourquoi. Des mesures et mécanismes précis ont été étudiés, testés et résolus, et la voie est à présent ouverte au développement d'un modèle de décompression plus sûr qui permettra la mise au point d'un ordinateur de plongée personnalisé intégrant des paramètres physiologiques en temps réel ainsi que d'autres données médicales. Ces quatre années de recherches ont été caractérisées par un effort intense, qui a permis de faire progresser la technologie subaquatique : il s'agit d'un grand bond en avant pour la sécurité de la plongée. Ces études ont en outre posé les jalons pour les recherches futures en répondant à certaines questions existantes tout en en soulevant de nouvelles.

À la conférence, les responsables du projet ont présenté le livre « **The Science of Diving, Things your instructor never told you** », un recueil complet des approches et idées actuelles, ainsi qu'une compilation des résultats des études pionnières réalisées. Cet ouvrage, qui comporte 273 pages divisées en 11 chapitres, constitue un excellent aide-mémoire pour toute personne pratiquant la plongée ou intéressée par cette discipline, notamment les médecins, le personnel des caissons hyperbares, les scientifiques, les professionnels de la plongée, les opérateurs de plongée ou encore les candidats plongeurs. Il approfondit des notions scientifiques dans un langage accessible et vivant, sans verser dans le jargon technique.

L'ouvrage a été édité par le Prof. Balestra et le Dr Germonpré, coédité par M. Rozloznik, P. Buzzacott et D. Madden de la European Underwater and Baromedical Society (EUBS), et rédigé par l'ensemble des 14 chercheurs du projet PHYPODE.

Ouvrage en vedette

« The Science of Diving, Things your instructor never told you »
Cet ouvrage, publié par Lambert Academic Publishing, est en vente en ligne ici, ou peut être commandé auprès de toute librairie avec la référence ISBN 978-3-659-66233-1. Il est vendu au prix de 49,90 €, et les droits d'auteur perçus sur la vente seront versés à l'EUBS afin de promouvoir la poursuite des recherches en médecine de la plongée.

Ressources pédagogiques : un avantage de l'affiliation à DAN
Les membres DAN sont régulièrement informés d'intéressants séminaires, conférences et autres événements axés sur la sécurité de la plongée, et sont invités à y participer. Les remises proposées sur le prix d'entrée ou la participation gratuite à de tels événements ne sont que quelques-uns des nombreux avantages réservés aux membres DAN.
Afin de vous tenir informé d'événements similaires à la conférence PHYPODE, inscrivez-vous sur le site Web de DAN Europe. Cela vous permettra de recevoir régulièrement nos lettres d'information, ainsi que des informations précieuses sur les opportunités de formation aux premiers secours, les régimes

d’assurance plongée, les séminaires en ligne, et bien plus encore.