

3^{èmes} JOURNEES DE L'APNEE DE CHAMALIERES

20-21 avril 2001

LE RISQUE HYPOXIQUE EN APNEE, COMMENT L'EVITER ?

Bernard GARDETTE D.Sc.

Directeur Scientifique COMEX

36 bd des Océans

13275 MARSEILLE CEDEX 9

La syncope hypoxique reste le risque majeur en plongée en apnée.

Chaque année en France, plusieurs dizaines d'apnéistes se noient par perte de connaissance dans l'eau. Tous les pratiquants d'apnée connaissent le fameux « rendez-vous syncopal des 7 mètres » du Dr. Raymond SCIARLI, mais les causes exactes de ces syncopes restent encore à étudier.

De nombreux travaux récents ont mis l'accent sur le rôle du gaz carbonique (CO₂) et des stimuli mécaniques (mécano-récepteurs de la cage thoracique) sur la rupture de l'apnée. Mais peu d'études ont abordé le rôle de la chute d'oxygène (hypoxie) sur la perte de connaissance. En effet, il est difficile pour des raisons éthiques d'expérimenter sur la syncope hypoxique. De plus, les moyens de mesure « non invasifs » de l'oxygène artériel sont limités.

La pression d'oxygène (PO₂) peut cependant être approchée par mesure transcutanée. C'est ce que nous avons réalisé lors d'apnées « au sec » et en « immersion » à la COMEX en 1995. Ces mesures sont rapportées dans le texte ci-joint, publié dans la revue de Médecine Subaquatique et Hyperbare.

Bien que la validité de la mesure de la PO₂ par voie transcutanée soit soumise à discussion, il est important d'encourager ces recherches sur le rôle de la PO₂ sur la rupture de l'apnée. Par exemple, des enregistrements de l'électrocardiogramme et de la fréquence cardiaque instantanée permettraient de mieux connaître ce fonctionnement cardiaque en fin d'apnée. Ces paramètres pouvant dans l'avenir être intégrés dans un ordinateur portable spécifique pour apnéistes.

MESURE TRANSCUTANEE DE LA PO₂/PCO₂ CHEZ L'APNEISTE (VALIDATION DE LA METHODE)

G. LAMBERT¹, A. BOUSSUGES¹, J.M. SAINTY¹, B. GARDETTE².

¹ Service de réanimation et d'hyperbarie, hôpital Salvator, 249 Bd de Ste Marguerite, 13274 Marseille cedex 09. ² COMEX S.A, 36 Bd des Océans 13009 Marseille. (France)

ABSTRACT

Transcutaneous PO₂/PCO₂ measurement in breath-holder (validation of method). G Lambert, A Boussuges, JM Sainty, B Gardette. *Bull. Medsubhyp.* 1995, 5 (Supp.): 51 - 57. Transcutaneous measurement of blood gas (P_{tc} O₂ and P_{tc} CO₂) was made on line, during breath-holding (Apnea). This method was very advantageous to be used continuously in dry condition and in water at 10 meters (pool). But water, pressure and thermal protection were necessary. Most data obtained were very closely of alveolar gas measured in previous experiments. Nevertheless, for one diver, very low P_{tc} O₂ was observed at the end of immersion. This extreme value can be explained by variations of local blood flow. However, cutaneous sensor used in this study must be validated by more comparisons with classical methods. If future experiments confirm these results, the P_{tc} O₂ / P_{tc} CO₂ measurement will Permit to Study performance and training effect on breath-holders.

INTRODUCTION

La plongée "libre" et notamment la chasse sous-marine se sont considérablement développées et les performances n'ont cessé de s'améliorer (certains chasseurs dépassant la barrière des 40 mètres de profondeur). Il en résulte une recrudescence de pathologies liées à la pratique de l'apnée et notamment d'un accident spécifique : la syncope hypoxique lors de la remontée (Corriol 1990, Fructus et Sciarli 1992). Le mécanisme anoxique décrit par plusieurs auteurs est issu d'études essentiellement réalisées en laboratoire.

La physiopathologie de cet accident est la suivante : les variations de pression hydrostatique, fonctions de la profondeur, vont influencer directement sur les pressions partielles alvéolaires d'O₂ (PAO₂) (Ferretti et coll. 1991, Lanphier 1963, Lundgren 1984). Ainsi, au cours de la descente, l'accroissement de la pression ambiante va

augmenter la PAO₂, compensant partiellement la consommation d'O₂ de l'apnéiste et, de ce fait, permettant une utilisation plus poussée des réserves alvéolaires en O₂. Mais, à la remontée, la diminution de la pression hydrostatique va provoquer une décroissance importante de la PAO₂ d'autant plus rapide que la surface sera proche, créant ainsi une hypoxie majeure pouvant atteindre le seuil minimal tolérable et entraîner la syncope (Lanphier 1987).

Les travaux, jusqu'alors réalisés en laboratoire, font appel à des techniques invasives et à des appareillages complexes. Nous disposons actuellement de techniques de mesures non invasives (transcutanée) de la PO₂ et de la PCO₂ qui permettent l'analyse des variations des gaz du sang de manière continue. Nous avons dans ce travail étudié la faisabilité de l'utilisation d'un capteur/enregistreur de pressions partielles d'O₂ et de CO₂ de marque RADIOMETER au cours de la réalisation

d'apnées au sec, puis lors de plongées en piscine à 10 mètres de profondeur.

MATERIELS ET METHODES

Population étudiée

Les mesures sont réalisées chez six sujets volontaires sains, âgés de 24 à 42 ans, cinq hommes et une femme. Ils possèdent tous une expérience importante de la plongée en apnée.

Technique utilisée

Le matériel utilisé pour nos mesures est un appareil de mesure de PO_2 et de PCO_2 transcutanées ($P_{tc, O_2/CO_2}$), de marque RADIOMETER.

Mesure de la PO_2 transcutanée

L'électrode à PO_2 transcutanée utilisée est une électrode de CLARK. Un courant dépolarisant d'environ 700 millivolts entraîne une réduction des molécules d' O_2 et la production d'ions hydroxylés, la quantité de courant ainsi créée est proportionnelle au nombre de molécules d' O_2 présentes en regard de l'électrode.

L'électrode de CLARK est modifiée pour l'utilisation transcutanée. Le capteur est chauffé entre 43°C et 45°C. En effet, LUBBERS, puis PEABODY ont montré, dans les années 1970, que cette forme de vasodilatation thermique permettait d'estimer la pression artérielle en oxygène (PaO_2) de façon fiable et reproductible par la mesure transcutanée, que ce soit chez le nouveau-né ou chez l'adulte.

Mesure de la PCO_2 transcutanée

L'électrode utilisée est une électrode de verre pour mesurer le pH modifiée par STOW-SEVERINGHAUS. Comme avec les électrodes à PO_2 , la température, les électrolytes et la membrane ont été choisis

empiriquement pour donner la meilleure relation entre les PCO_2 artérielle et cutanée.

Toutes les études ont montré que la PCO_2 transcutanée était toujours significativement plus élevée que la PCO_2 artérielle ($PaCO_2$). Ce gradient est dû à la production de CO_2 dans le derme vivant, ainsi qu'à d'autres facteurs thermiques. Par conséquent, un facteur de correction est utilisé pour estimer la $PaCO_2$ à partir de la valeur transcutanée correspondante.

Site d'étude

Le creux sous claviculaire gauche a été choisi comme site d'étude. Cette région est, en effet, moins exposée aux variations hémodynamiques et les mesures des gaz recueillis reflètent de façon plus étroite les gaz du sang.

L'électrode est fixée grâce à une pastille autocollante fournie dans le kit. Afin d'éviter les décollements accidentels, la fixation est complétée par un autocollant de type Opsite.

Apnées

Apnées au repos (milieu sec)

Les apnées sont de durées libres. Elles sont interrompues par le sujet lorsque le besoin de respirer est impérieux. Les périodes de récupération sont libres. L'influence de l'hyperventilation est étudiée.

En immersion, en piscine

L'étude est réalisée sur le même site de recueil qu'en milieu sec et avec le même type de fixation, mais il est assuré une protection de l'électrode vis à vis de l'eau, du froid et de la pression grâce à une protection des connexions électriques, à une combinaison semi-étanche et à une coque protectrice en polystyrène.

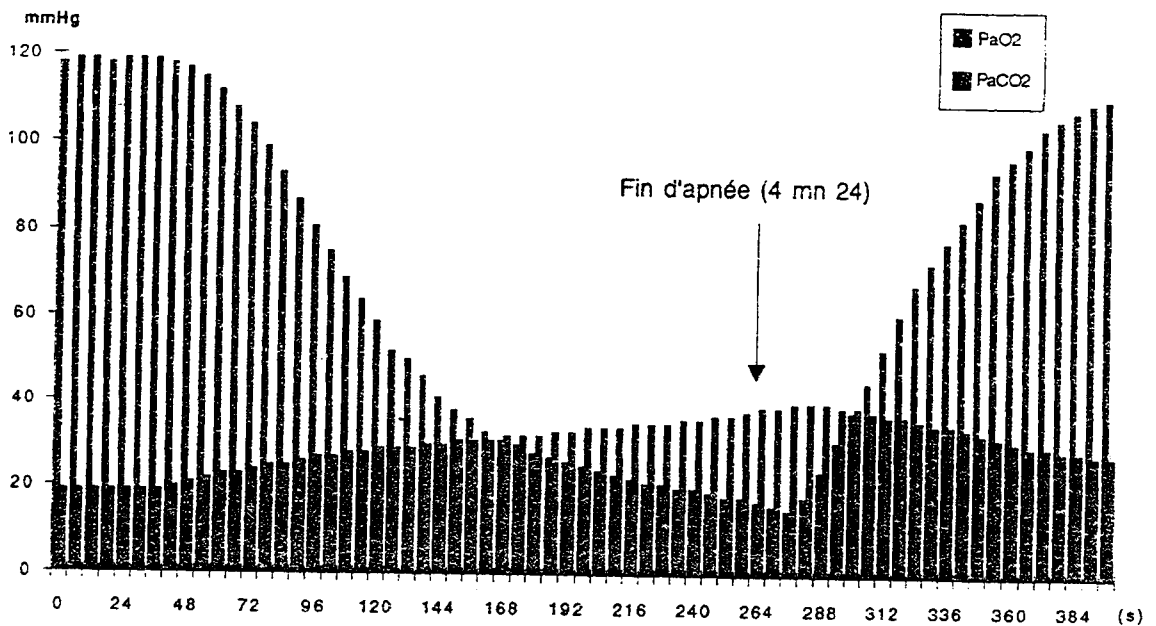


Figure 1. Variations de la $P_{tc}O_2$ et $P_{tc}CO_2$ au cours d'une apnée de 4 min 24 sec réalisée au sec (Sujet SA).

Une rallonge de 12 mètres est utilisée afin de permettre à l'apnéiste d'évoluer dans la fosse de la piscine de la COMEX, profonde de 10 mètres. Il est mesuré au cours de ces apnées le temps de descente au fond et le temps de remontée à la surface.

Paramètres étudiés

- PO_2 et PCO_2 par voie transcutanée. Enregistrement du début de l'apnée jusqu'à la fin de la récupération (retour aux valeurs de base avant la préparation à l'apnée).
- Fréquence cardiaque
- Saturation artérielle en oxygène mesurée par voie transcutanée grâce à un capteur digital.
- Paramètres cliniques observés.

Tous ces paramètres sont étudiés lors d'apnées au sec.

En immersion, seule l'étude de la PO_2 et de

la PCO_2 a été réalisée.

RESULTATS

Quelques exemples de $P_{tc}O_2 / CO_2$ sont représentés sur les figures 1, 2 et 3.

DISCUSSION

La mesure transcutanée de la pression des gaz sanguins offre la possibilité de surveiller en permanence les variations de PO_2 et de PCO_2 . Son application principale est la réanimation infantile afin de dépister et de corriger rapidement toute variation dangereuse des gaz du sang. Elle est également utilisée chez l'adulte pour évaluer l'oxygénation locale en chirurgie vasculaire ou plastique après

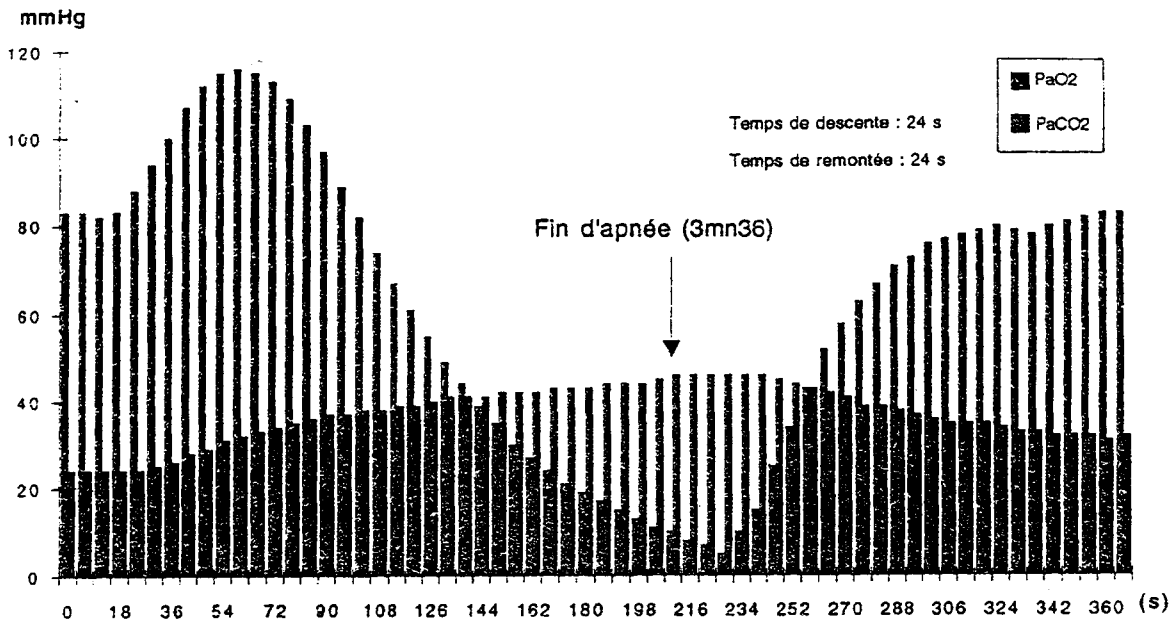


Figure 2. Variations de la $P_{te}O_2$ et $P_{te}CO_2$ au cours d'une apnée de 3 min 36 sec réalisée dans l'eau à la profondeur de 10 mètres (sujet SA).

revascularisation ou transplantation de lambeau cutané et, au cours d'une oxygénothérapie, pour en contrôler l'efficacité (Mathieu et coll. 1991). L'intérêt de cette technique réside dans sa simplicité, son caractère non invasif, sa reproductibilité chez un même sujet dans des conditions identiques et la possibilité de recueil de mesure en continu (Dall'ava 1990).

La méthode non invasive jusqu'ici utilisée pour l'étude de l'apnée est l'analyse des gaz expirés (P_{exp}). Cette technique a permis d'observer des chutes de la $P_{exp} O_2$ jusqu'à 41 à 28 Torr (mmHg) et des augmentations de la $P_{exp} CO_2$ jusqu'à 45,6 à 53,3 Torr après des apnées de durées croissantes jusqu'à 5 minutes (Ferretti et coll. 1991).

Plus récemment, la saturation artérielle en oxygène mesurée par voie transcutanée

(lobe de l'oreille) a été utilisée chez des plongeurs coréennes (Stanek et coll. 1993). Il n'a été retrouvé que des épisodes de désaturation peu importants. Cependant, la saturation artérielle en oxygène dépend de la pression partielle artérielle en oxygène, mais également du pH sanguin. Elle n'est que le reflet indirect de l'oxygénation tissulaire.

L'étude de la PO_2 et de la PCO_2 transcutanée apparaît beaucoup plus instructive et il était intéressant de l'appliquer à l'étude de l'apnée.

Chez l'adulte, les PO_2 et PCO_2 mesurées par cette méthode ne sont qu'un reflet des vraies pressions partielles artérielles mesurées par méthode spectrophotométrique à partir d'un échantillon de sang artériel. La relation entre pressions transcutanées et artérielles est principalement déterminée par trois

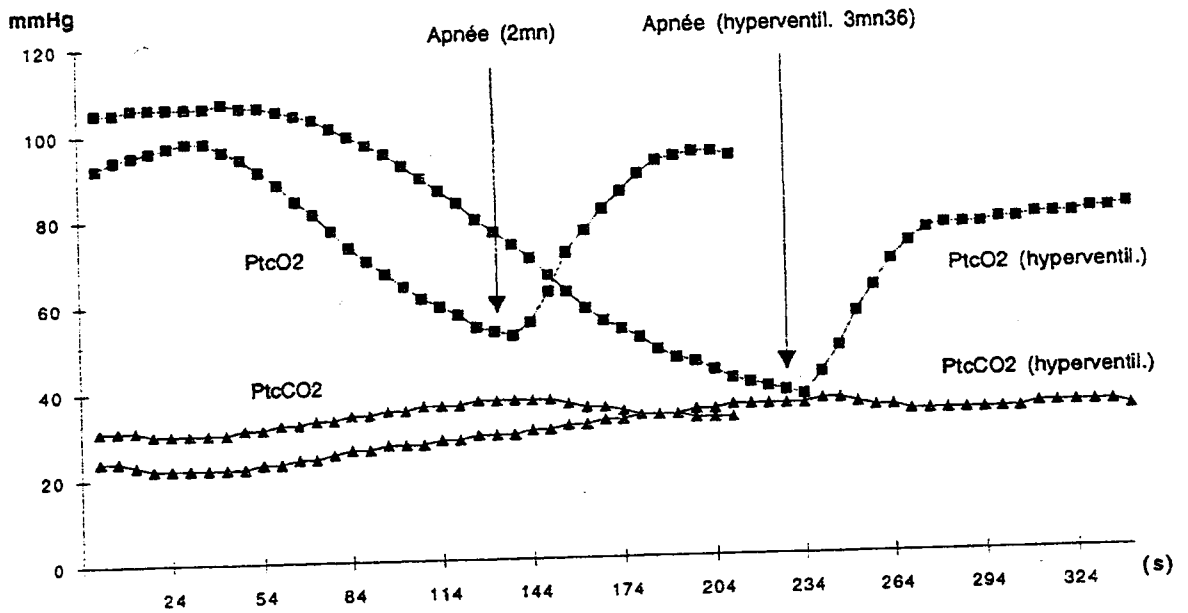


Figure 3. Effet de l'hyperventilation précédant l'apnée au sec (sujet BG).

facteurs physiologiques :

- la température capillaire (qui dépend beaucoup de la température de l'électrode),
- le débit sanguin capillaire,
- la consommation locale d' O_2 ou la production de CO_2 .

Si la $P_{tc} O_2$ est proche de la PaO_2 , cela est dû à l'augmentation de la pression partielle en oxygène, du fait du chauffage, puis à sa diminution lors du transit capillaire et tissulaire vers la surface cutanée. De même la $P_{tc} CO_2$ est augmentée par le chauffage de la peau et la production métabolique de CO_2 par les cellules vivantes de l'épiderme. Ce n'est que parce qu'il est introduit dans la calibration in vitro de l'appareil, un facteur de correction, que la $P_{tc} CO_2$ s'avère proche de la $PaCO_2$.

Malgré ces réserves, les résultats observés dans notre étude sont compatibles avec les connaissances établies par l'expérimentation. Lors de la reprise de la

ventilation, les $P_{tc} O_2$ ont, en moyenne, diminué de 56%, alors que les $P_{tc} CO_2$ ont augmenté de 41 % par rapport aux valeurs de début d'apnée. Les valeurs absolues minimales de PO_2 obtenues par la méthode d'étude transcutanée, lors de la rupture de l'apnée, sont proches des valeurs recueillies par prélèvements sanguins artériels chez des plongeurs entraînés (Qvist et coll. 1993), en moyenne 40 mmHg (extrêmes 18-64).

Nous avons cependant observé une poursuite de la chute de la $P_{tc} O_2$ et de l'augmentation de la $P_{tc} CO_2$ après la rupture de l'apnée. Ce décalage pourrait correspondre au temps d'échange des gaz entre les secteurs artériels et capillaires, ainsi qu'au temps de lecture de l'appareillage (Kesten). Il est voisin de 18 secondes dans notre étude.

Il est également intéressant de constater

que les variations des pressions partielles en O_2 et CO_2 secondaires à l'hyperventilation sont également conformes aux études antérieures (Mc N Hill 1973, Corriol et Duflot 1992).

L'hyperventilation permet de retarder le point de rupture de l'apnée, en raison de la plus faible augmentation de la PCO_2 , au prix d'une baisse plus importante de la PO_2 , ce qui expose au risque de syncope hypoxique (voir figure 3).

Immersion

Lors de l'immersion, afin d'obtenir des mesures, il est nécessaire d'assurer une protection thermique. En effet, lorsque le sujet est immergé, le refroidissement de la température cutanée risque d'altérer les résultats.

Plusieurs séances dans la fosse à 10 mètres ont ainsi été marquées par des interruptions brutales de mesure.

L'utilisation d'une combinaison semi-étanche nous a par la suite permis de nous rapprocher de la neutralité thermique et d'éviter les interruptions de mesure. Lorsque ces précautions sont prises, le recueil des gaz tissulaires est possible.

Nous avons observé, comme lors des études utilisant des prélèvements artériels, une augmentation de la PO_2 lors de l'atteinte de la profondeur de 10 mètres (Qvist et coll. 1993).

A la remontée, les deux facteurs "décompression" et "consommation" vont jouer dans le même sens, en défaveur du chasseur sous-marin. Il en résulte que les PaO_2 et P_{tO_2} peuvent chuter brutalement à des valeurs très faibles, surtout en fin de remontée puisque c'est aux alentours de la surface que les variations de pression, en fonction de la profondeur, sont les plus importantes. Ce mécanisme est la principale cause de pertes de connaissance et d'accidents graves chez les apnéistes

(Corriol 1990).

Chez trois apnéistes, les valeurs obtenues sont compatibles avec les connaissances antérieures. Chez un sujet, nous avons, par contre, recueilli des valeurs minimales de P_{tO_2} très faibles, lors de la rupture de l'apnée (PO_2 min. = 2 mmHg !). Outre les limites observées en surface et inhérentes à la technologie utilisée, l'immersion peut modifier la réception des gaz transcutanés par le biais de modifications des débits régionaux.

De nouveaux travaux sont indispensables afin de comparer les résultats des différentes techniques disponibles et d'étudier la reproductibilité des mesures de la méthode transcutanée au sec et en immersion. Cette méthode apparaît néanmoins très intéressante, car si les prochains travaux confirment sa validité, elle devrait permettre aux apnéistes d'étudier leurs performances et l'effet de l'entraînement en distinguant les différents facteurs qui permettent l'allongement des temps d'apnée (Courteix et Lamendin 1992, Sciarli et coll. 1977) : relaxation et moindre consommation en oxygène, tolérance à l'hypoxie et à l'hypercapnie, facteurs psychologiques, hyperventilation préalable.

REFERENCES

CORRIOL JH. Les pertes de connaissances hypoxiques du plongeur en apnée. Revue générale. Med. Sub. Hyp. 1990, 9: 76-87.

CORRIOL JH, DUFLOT JC. Plongée en apnée et hyperventilation : mise au point. Bull. Med. Sub. Hyp. 1992, 2: 115-127.

COURTEIX D, LAMENDIN H. Facteurs déterminants de la rupture de l'apnée volontaire (évolution des modèles). Science et Sport, 1992, 4: 235-244.

