4 avril 2008 Clermont-Ferrand

Conférences

sous la direction de

Frédéric Lemaître

1e Journées de l'Apnée

10èmes Journées de l'apnée
Programme des conférences

Accueil conférenciers et public : 17h30, Jacques Fabbi, Frédéric Lemaître

Début des conférences à 18h00

18h00 – 18h20 : Dr Fabrice Joulia
« Adaptations engendrées par un entraînement spécifique en apnée »

10 minutes de questions

18h30 – 18h50 : Pierre Frolla, Dr François Bernier, Dr Bernard Gardette
« OHB et entraînements implications pratiques »

10 minutes de questions

19h00- 19h20 : Dr Frédéric Lemaître, Dr Vincent Lafay, Dr Bernard Gardette,
« Les risques de l'apnée »

10 minutes de questions

Pause café et Exposition photo : Philippe Marques et commission régionale photo RABA (30 minutes)

20h00- 20h20 : Stig Avall Severinsen
« Entraînement et apnée dynamique »

10 minutes de questions

20h30 -20h50 : Stéphane Mifsud
« Entraînement et préparation mentale en apnée statique »

10 minutes de questions

21h00 -21h20 : Cédric Palerme
« Evolution de l'apnée »

10 minutes de questions

Clôture du Congrès : Jacques Fabbi

ADAPTATIONS ENGENDREES PAR UN ENTRAINEMENT SPECIFIQUE EN APNEE

Dr Fabrice Joulia
Laboratoire d'Ergonomie Sportive et Performance (EA 3162), U.F.R. STAPS, Université de Toulon et du Var ; APRAAS. E-mail: joulia@univ-tln.fr

Résumé

Une partie de la performance en apnée peut s'expliquer partiellement par un caractère inné. Toutefois, plusieurs études ont montré que c'est surtout l'entraînement spécifique en jouant sur les aspects physiologique et psychologique qui permet d'atteindre ces performances. Physiologiquement deux aspects déterminent la performance. Les réserves initiales d'oxygène et les capacités de l'individu à les utiliser au mieux en préservant son intégrité. La quantité d'O_2 initiale dépend de la quantité d'air présente dans la cage thoracique et des réserves en oxyhémoglobine et myoglobine. Un entraînement spécifique à l'apnée permet d'augmenter les volumes et capacité pulmonaires par augmentation de la force de contraction des muscles ventilatoires et de la souplesse de la cage thoracique. En plus de ce volume d'air supplémentaire, il a été décrit que la pratique régulière de l'apnée favorise la splénocontraction et la libération d'EPO. Parallèlement à ces aspects on constate une accentuation du réflexe de plongée consistant principalement en une bradycardie et une vasoconstriction périphérique plus importantes associées à une augmentation des perfusions cérébrale et coronaire. Un sujet entraîné en apnée sera donc plus performant mais aussi mieux protégé contre l'hypoxie et moins sensible à la fatigue musculaire.

Mots clés : Apnée, réflexe de plongée, hypoxie, performance.

Introduction

Les records dans les différentes disciplines de l'apnée sportive ont évolué extrêmement rapidement surtout au cours de ces dernières années (records du monde en apnée statique de 10'04'' et en no limit de 214m). Le principal facteur déterminant une telle progression semble être, avec la professionnalisation de cette discipline sportive une augmentation de la spécificité de l'entraînement dans ces aspects quantitatif et qualitatif. Comme dans toutes les disciplines une partie de la performance sportive peut s'expliquer par un caractère inné anatomique (forme des trompes d'Eustache,...) ou physiologique (types de fibres musculaires, ...). Toutefois, comme le montrent plusieurs études, un entraînement spécifique permet en jouant sur les aspects physiologique et psychologique d'atteindre les performances actuelles tant du point de vue des durées que des distances ou des profondeurs. Classiquement on peut scinder artificiellement l'apnée en deux phases une phase dite de « bien être » déterminée par des paramètres physiologiques et une phase de lutte déterminée par le profil psychologique du pratiquant.

Aspects psychologiques

La durée de la phase de lutte « struggle phase » des anglo-saxons est déterminée par plusieurs paramètres. Comme son nom l'indique il s'agit pour le sportif de lutter contre les sensations désagréables qui informent les centres ventilatoires sur la nécessité de reprendre la

ventilation. En effet, au fur et à mesure du déroulement de l'apnée, la baisse du pH sanguin liée entre autres à l'accumulation d'acide lactique et d'acide carbonique, va stimuler les chémorécepteurs centraux et périphériques. Cette stimulation s'accentuant c'est la détermination du sujet à « supporter » ces sensations qui augmentera la durée de cette phase. Ainsi, un sportif de haut niveau qui ne pratique pas l'apnée mais une autre discipline particulièrement exigeante, de part les sensations douloureuses qu'elle procure, pourra réaliser des apnées plus longues qu'un sujet sédentaire de même profil ce qui ne veux cependant pas dire que cette apnée sera réalisée en sécurité. L'aspect motivationnel est lui aussi à prendre en compte, en effet la confrontation dans une compétition ou le fait d'être observé par exemple permet d'augmenter cette phase. Enfin, la capacité du sujet à faire abstraction de l'environnement et des stimuli par exemple en faisant appel à l'imagerie mentale peut dans une certaine mesure favoriser l'augmentation de cette phase.

Aspects physiologiques

Deux principaux aspects vont déterminer la performance. Le premier concerne les réserves initiales principalement celles d'oxygène et le second les capacités de l'individu à utiliser au mieux ces dites réserves. La quantité d'O_2 en réserve au départ de l'apnée dépend de la quantité d'air présente dans la cage thoracique et des réserves en oxyhémoglobine et myoglobine. Un entraînement spécifique à l'apnée permet d'augmenter les volumes et capacité pulmonaires. Deux explications sont données à ces augmentations. La respiration en charge liée principalement à l'utilisation du tuba et à la pression engendrée par l'eau sur la cage thoracique à comme conséquences de produire une surcharge de travail des muscles ventilatoires qui comme pour tous muscles striés squelettiques induit une augmentation de leur force favorisant les phases inspiratoire comme expiratoire. Si l'on associe à cette augmentation de force un travail d'assouplissement de la cage thoracique on obtient des valeurs des capacités et volume thoracique qui peuvent être de 40% supérieures aux valeurs standardisées (**3**). Si l'on s'intéresse aux autres réserves en O_2 il a été décrit que la pratique régulière de l'apnée permet d'augmenter la splénocontraction (**2,6**) et de favoriser la libération d'EPO (**1,5**) alors que le taux de myoglobine n'a pas encore été étudié. Ainsi la quantité d'oxygène disponible au début de l'apnée sera plus importante chez le sujet entrainé ce qui permet déjà d'expliquer des durées d'apnées supérieures. Toutefois, ce paramètre n'est suffisant que pour expliquer une partie de la performance. C'est sur le versant de l'utilisation des réserves qu'il est nécessaire de rechercher d'autres explications. En effet, la mesure des PAO_2 montre que ces valeurs restent plus élevées à durées d'apnées équivalentes chez les apnéistes de haut niveau comparativement à d'autres sujets alors que parallèlement l'augmentation de la $PACO_2$ est plus modérée. Lorsqu'on étudie plus précisément l'évolution de la composition du sang, on constate que les modifications engendrées par les apnées qu'elles soient statique et dynamique sont très différentes en fonction du niveau d'entraînement. On peut constater qu'alors qu'une apnée dynamique d'une minute engendre une forte augmentation de la lactatémie chez des non pratiquants, cette augmentation devient moins importante avec un entraînement spécifique (**4**) voire insignifiante chez des apnéistes de très hauts niveaux (Figure1). Cette observation peut paraître paradoxale puisque la lactatémie est moindre chez l'apnéiste alors que parallèlement comme nous le détaillerons plus loin, la perfusion des muscles striés squelettiques de la locomotion est bien plus faible que celle des non pratiquants. L'analogie avec les adaptations musculaires enzymatiques des mammifères marins est alors possible. En effet il a été montré que lors de leurs plongées le métabolisme énergétique des muscles de la locomotion est préférentiellement de type lipidique ce qui a comme avantages de limiter la consommation en oxygène de ces territoires et la production d'acide lactique (**8**) L'entraînement des apnéistes de haut niveau permettrait donc d'approcher certaines adaptations décrites chez les mammifères

marins. Parallèlement à ces modifications de la lactatémie on observe que la production de radicaux libres de l'Oxygène qui est démontrée très importante lors d'apnées dynamiques chez des sédentaires ou des sportifs non apnéistes, s'amenuise avec l'entraînement pour être négligeable chez les meilleurs apnéistes. La baisse du pH intramusculaire étant un des freins au maintien d'une activité musculaire il apparaît que les apnéistes présenteront y compris pour des exercices réalisés sans apnée une bien meilleure résistance à la fatigue. L'étude de l'activité musculaire à travers l'électromyogramme ou l'onde de dépolarisation membranaire permet de confirmer cette hypothèse. En effet, le spectre de fréquence obtenu à partir d'une analyse de Fourrier de l'électromyogramme, montre que lors d'une apnée dynamique, un sujet entraîné en apnée présente une meilleure efficacité du couplage excitation-contraction car la quantité de basse fréquence est bien inférieure à celle d'un non apnéiste alors que dans le même temps la vitesse de dépolarisation membranaire est plus rapide chez l'apnéiste. Autrement dit le rendement musculaire est meilleur ce qui permet d'optimiser l'utilisation des réserves en oxygène épargnant les stocks et diminuant la production des métabolites. Lorsqu'on s'intéresse aux bénéfices d'un entraînement spécifique sur l'apnée elle même il est évident que le premier résultat attendu et obtenu avec l'entraînement est une augmentation de la durée de l'apnée tout en privilégiant l'aspect sécurité. Même si certains individus présentent de bonnes disponibilités (facteur inné), l'entraînement permet très rapidement d'augmenter la performance en jouant sur les deux phases de l'apnée (phase de bien être et phase de lutte, figure 2). Plusieurs autres adaptations physiologiques expliquent cette augmentation de performance en plus de celles précédemment décrites. Elles concernent ce que l'on appelle le « réflexe de plongée » qui inclut principalement les modifications cardiovasculaires engendrées par l'arrêt ventilatoire. Ces modifications ont deux buts majeurs, permettre d'économiser l'oxygène et réaliser des apnées en protégeant les organes dits oxygèno-sensibles. L'apnée engendre chez le sujet novice une bradycardie qui s'installe progressivement au décours de l'apnée et dont l'intensité est relativement modérée (baisse moyenne de 10 à 20% de la fréquence cardiaque). Cette bradycardie devient plus importante après 3 mois d'un entraînement en apnée dynamique et s'installe très vite et avec une plus forte intensité chez les experts (40% de baisse). Le tissu musculaire cardiaque étant moins sollicité sa consommation en oxygène sera amoindrie. De plus il a été montré que la perfusion coronaire augmentait alors même que le débit cardiaque était amoindri et ceci en fonction du niveau d'hypercapnie (**7**). De cette façon pendant les phases de diastole la perfusion du cœur sera optimisée afin de limiter au mieux les effets de l'hypoxie. En plus de cette bradycardie on constate une forte augmentation de la vasoconstriction périphérique avec comme conséquence une baisse de la perfusion dans les muscles striés squelettiques de la locomotion. Cette vasoconstriction est liée à la fermeture d'un grand nombre de sphincter pré capillaires situés sur le réseau vasculaire des membres inférieurs et supérieurs. Ce système de sphincters permet les ajustements circulatoires dans de nombreuses situations qui englobent les ajustements à l'exercice ou encore les adaptations au froid ou au chaud. Cette vasoconstriction aura deux conséquences, diminuer la consommation en oxygène de ces territoires forts consommateurs mais aussi de permettre malgré une diminution du débit cardiaque une meilleur perfusion des territoires les plus susceptibles de souffrir de l'hypoxie. Ainsi les deux organes dont le bon fonctionnement est indispensable à la vie de l'individu seront le siège d'une vasodilatation qui associée à la vasoconstriction des autres territoires entraîne une augmentation locale de la circulation compensant au moins en partie l'hypoxémie. On a ainsi constaté que l'augmentation de la perfusion cérébrale d'un non apnéiste augmente de 10% à 20% après une apnée statique de deux minutes tandis que le même sujet après trois mois d'un entraînement en apnée verra cette augmentation atteindre 50% et un expert plus de 200%.

Conclusion.

La plus grande partie des performances réalisées par les meilleurs des apnéistes est liée à la spécificité de leurs entraînements. Ce qu'il faut surtout retenir c'est qu'une apnée de durée équivalente chez un non-apnéiste n'a pas les mêmes conséquences que chez un expert puisque chez ce dernier la perfusion cérébrale fortement augmentée permettra de protéger au mieux le cerveau limitant ainsi les risques de perte de connaissance. L'entraînement est donc indispensable non seulement pour augmenter les performances mais surtout afin de diminuer au mieux les risques inhérents à cette pratique. Enfin, l'entraînement en apnée peut être un bon moyen pour augmenter la résistance à la fatigue y compris pour les autres disciplines sportives.

Bibliographie

1. De Bruijn R, ·Richardson M, and Schagatay E. Increased erythropoietin concentration after repeated apneas in humans. *Eur J Appl Physiol* 102: 609–613, 2008.

2. Espersen K, Frandsen H, Lorentzen T, Kanstrup IL, and Christensen NJ. The human spleen as an erythrocyte reservoir in diving-related interventions. *J Appl Physiol* 92: 2071-2079, 2002.

3. Hong SK, Rahn H, Kang DH, Song SH and Kang BS. Diving pattern, lung volumes, and alveolar gas of the Korean diving woman (Ama). *J Appl Physiol*, 18: 457-465, 1963.

4. Joulia F, Steinberg JG, Faucher M, Jamin T, Ulmer C, Kipson N and Jammes Y. Breath-hold training of humans reduces oxidative stress and blood acidosis after static and dynamic apnea. *Respir Physiol Neurobiol*. 14;137(1):19-27, 2003.

5. Prommer N, Ehrmann U, Schmidt W, Steinacker JM, Radermacher P, and Muth C-M. Total haemoglobin mass and spleen contraction: a study on competitive apnea divers, non-diving athletes and untrained control subjects. *Eur J Appl Physiol* 101:753–759, 2007.

6. Schagatay E, Haughey H, and Reimers J. Speed of spleen volume changes evoked by serial apneas. *Eur J Appl Physiol* 93: 447-452, 2005

7. Tzou WS, Korcarz CE, Aeschlimann SE, Morgan BJ, Skatrud JB and Stein JH. Coronary flow velocity changes in response to hypercapnia: assessment by transthoracic Doppler echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 20(4):421-6, 2007.

8. Williams TM, Haun JE and Friedl WA. The diving physiology of bottlenose dolphins (Tursiops truncatus). I. Balancing the demands of exercise for energy conservation at depth. *J Exp Biol*. 202(20):2739-48, 1999.

OHB ET ENTRAINEMENT : IMPLICATIONS PRATIQUES

François Bernier [(1)], Pierre Frolla [(2)], Bernard Gardette [(3)]

[(1)] *Médecin, Sécurité Civile ST NAZAIRE et FFESSM, APRAAS*
[(2)] *FMAS (Fédération Monégasque Activités Subaquatiques), APRAAS*
[(3)] *COMEX S.A., Marseille, Direction Scientifique ; APRAAS*

Introduction

COMEX a mené une étude [(*)] sur « les effets d'une exposition répétée à l'oxygène hyperbare (OHB) sur la performance physique du sportif » à la suite de laquelle nous avons conclu que « l'hyperbarie permet une optimisation de l'entraînement ». Nous avons inclus dans la préparation d'un record en poids variable de Pierre FROLLA des séances d'OHB en chambre hyperbare avec exercice sur bicyclette ergométrique.

Protocole réalisé chez les sportifs (Etude COMEX / ALSI)

Le but de cette étude a été de vérifier que l'hyperoxie permettait d'augmenter les performances d'un exercice physique. Vingt deux sportifs de spécialités différentes, « explosif » (musculation) et « endurance » (cyclisme) ont été étudiés. Les groupes « explosif » et « endurance » comportaient respectivement six sujets hyperoxie + trois contrôles et six sujets hyperoxie + sept contrôles. Douze séances d'entraînement de 90 minutes ont été réalisées : groupe hyperoxie = 100 % d'oxygène à 1,6 b (PO_2 = 160 kPa), groupe témoin = pression atmosphérique normale (PO_2 = 21 kPa). Des paramètres anthropométriques et biologiques, la force utile maximale (groupe « explosif ») et VO_2 max (groupe « endurance ») ont été mesurés avant et après les 12 séances. L'évolution des puissances développées à la fréquence cardiaque correspondant au seuil de 4 $mmol.l^{-1}$ d'acide lactique a été suivie dans le groupe « endurance ».

Il n'existait pas de différence significative entre les groupes pour les paramètres anthropométriques, sanguins et VO_2 max. Le groupe « explosif » hyperoxie présentait à la fin des séances, une force utile maximale plus importante ($p = 0,03$) que celle des témoins. Le groupe « endurance » présentait au cours des séances une augmentation plus importante ($p < 0,05$) des puissances sous maximales que le groupe témoin.

Protocole réalisé chez Pierre Frolla

Le protocole réalisé chez Pierre FROLLA a consisté à effectuer 5 séances en caisson, regroupées sur une semaine. Lors de toutes les séances sous O_2, Pierre est placé sur un vélo à une puissance définie pour une PpO_2 de 1,6 bar. Les séances sont alternées entre séance de travail au seuil aérobie (Jour A) et séance de « récupération » (80 % du seuil, Jour B). Le seuil aérobie a été déterminé par une épreuve d'effort sur bicyclette au Centre de Médecine du Sport de NICE. Le premier jour, Pierre à réalisé une séance de « mise au point » notamment pour le flux d'O_2 circulant car la demande pulmonaire de Pierre était largement supérieure à la norme habituelle des patients du caisson. Après cette mise au point, il effectue une séance à 80 % du seuil aérobie pendant une heure quinze environ.

[*] Sciences et Sports : 19 (2004) 301-307.

Dans le cadre de sa préparation, Pierre réalisé le mardi et le jeudi matin une petite séance d'apnée statique (3 apnées par séances). Les séances de travail au seuil se déroulèrent de la façon suivante. Echauffement de 10 minutes à une fréquence cardiaque de 140 pulsations minute (80% du seuil), puis 5 séries de cinq minutes de travail au seuil avec entre chaque série une minute de récupération. A la fin de la séance, dix minutes de récupération active sont effectuées (80 % du seuil). En annexe, séance de travail du mardi.

Malheureusement, le protocole à du être arrêté le jeudi car Pierre a présenté une crise hyperoxique à la fin de la séance du jeudi.

Conclusions

Bien qu'il ne nous ait pas été permis de mettre en évidence un effet bénéfique de l'oxygène sur l'entraînement de l'apnéiste, nous pensons que ces recherches méritent d'être poursuivies, afin de mieux connaître le fonctionnement musculaire sous oxygène normobare (ONB) et hyperbare.

LES RISQUES DE L'APNEE

Frédéric Lemaître [1,2] ; Vincent Lafay[2,3], Bernard Gardette [2, 4]

(1) Centre d'Etudes des Transformations des Activités Physiques et Sportives, Equipe d'Accueil UPRES N°3832. Faculté des Sciences du Sport et de l'Education Physique de Rouen, Université de Rouen, France. E-Mail : frederic.lemaitre@univ-rouen.fr
(2) APRAAS : Association pour la recherche sur l'Apnée et les Activités Subaquatiques
(3) CHP La Résidence du Parc, Marseille ; E-Mail : vincent.lafay@medecins-saint-antoine.fr
(4) Directeur Scientifique, Comex SA, 36 Bd des Océans, 13275 Marseille cedex 9, France. E-mail: comexsa@comex.fr

Résumé

L'apnée fait partie des sports à « risques » comme la plongée ou le parachutisme. Certaines règles de sécurité sont donc à respecter pour pouvoir pratiquer avec un minimum de risques. Le risque le plus connu et le plus redouté est la syncope et son corolaire la samba. Nous aborderons également les autres accidents dont les mécanismes sont plus ou moins « clairs » comme les risques cardiaques liées à l'immersion profonde, les éventuels accidents de décompression, les dangers de la carpe et les œdèmes pulmonaires. Pour finir nous aborderons les conséquences de la pratique à long terme de l'apnée.

Mots clés : Apnée, accident, décompression.

Introduction

La pratique augmentant, les incidents ou accidents liés à l'apnée sont plus importants en nombre. Les catastrophiques noyades du début ont décidé la plupart des responsables de piscines à refuser la pratique de l'apnée sous quelque forme que ce soit. Aujourd'hui, de nombreux clubs de plongée souhaitent pouvoir faire de l'apnée de façon plus approfondie, mais aussi en toute sécurité. L'apnée faisant partie des sports à risques, il est donc nécessaire de bien connaître les mécanismes physiologiques qui pourraient être à l'origine d'accidents. Nous ne traiterons pas ici des barotraumatismes de l'oreille ou des sinus pour nous concentrer sur les syncopes, les accidents qui pourraient venir d'une surcharge du travail cardiaque, des accidents de décompression, des risques liés à la pratique de la carpe et pour aborder les œdèmes pulmonaires. Tous ces risques sont bien réels mais parfois mal interprétés ou expliqués par les apnéistes. Nous allons en faire une rapide synthèse pour tenter de comprendre quels en sont les mécanismes sous-jacents et surtout tenter de donner quelques grandes règles de sécurité pour les éviter. Ces accidents de type aigus ne sont peut être pas sans conséquences sur la santé de l'apnéiste à long terme. Mais les études longitudinales manquent encore pour pouvoir se positionner avec certitude.

Samba, Syncope

La syncope est une perte de connaissance liée à une hypoxie cérébrale. C'est sans doute le danger le plus important surtout lorsque l'apnéiste est immergé pour les risques de noyade

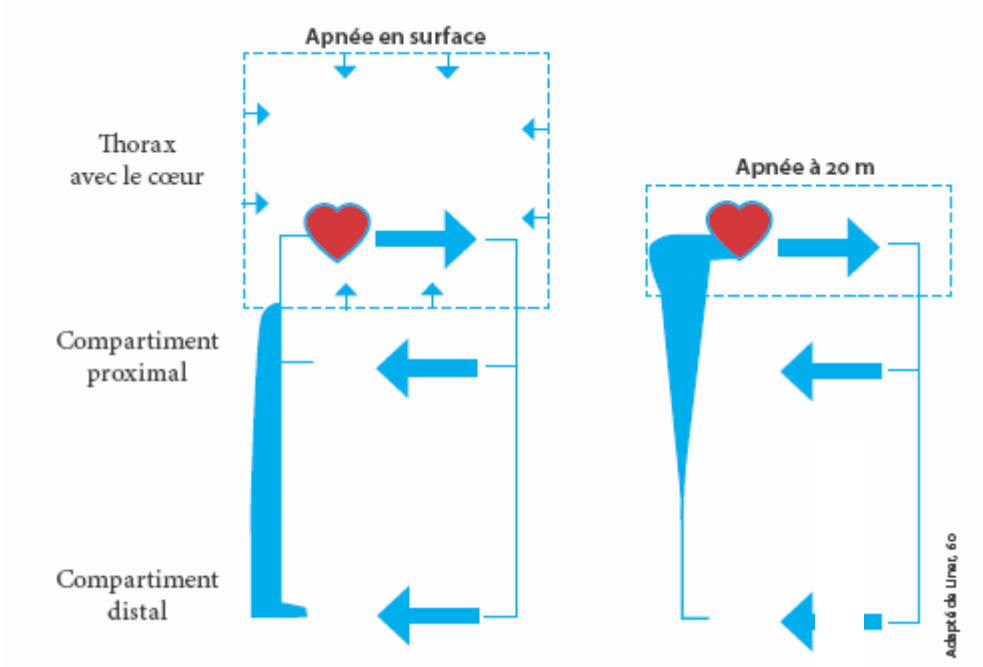
qui peuvent en résulter. Si nous étudions l'évolution des pressions partielles d'O_2 et de CO_2 au cours d'une apnée nous pouvons voir que au fur et à mesure que l'apnée se déroule, la PCO_2 augmente jusqu'à atteindre le seuil de rupture obligeant la reprise ventilatoire (1). De son côté, la PO_2 diminue par consommation de l'organisme. Si l'apnéiste décide maintenant d'hyperventiler avant son apnée, il va faire chuter son taux de gaz carbonique, aura moins envie de respirer ce qui permettra à l'oxygène de descendre à un taux suffisamment bas pour perdre connaissance. Si l'apnéiste force son apnée et lutte contre ce stimulus qu'est le CO_2, il pourra aussi dépasser ce seuil d'oxygène et perdre connaissance. Ce type d'accident n'est pas rare chez les apnéistes et sur près de 10 ans de compétition AIDA, il a été répertorié environ 10% de samba-syncope (2).

Quelles sont les règles simples de sécurité :

- Respecter le protocole de compétition avec surveillance et signaux
- Toujours par deux
- Ne jamais forcer, surtout si fatigue
- La compétition n'est pas le lieu pour établir un record !
- S'entraîner à réagir

Les risques cardiaques

Les troubles du rythme cardiaque (de type extrasystoles) sont très fréquents chez l'apnéiste. Ils peuvent survenir au cours de l'apnée statique mais aussi au cours de plongée en profondeur. Ces modifications souvent anodines et passagères sont probablement dues aux effets conjugués de la pression et du froid lors d'apnée en poids variable par exemple. Mais les conséquences à long termes de tels changements sont par ailleurs totalement inconnus chez l'apnéiste. Quelles sont alors les limites cardiaques de l'homme ? L'homme a déjà plongé beaucoup plus profond, 700m en plongée expérimentale (Comex, Marseille, 1992). Bien sûr, il ne s'agissait pas d'apnée, mais on a déjà pu vérifier que les pressions exercées à cette profondeur n'entraînent pas de répercussions cardio-vasculaires significatives. Donc, en termes de profondeur, la limite cardio-vasculaire est loin d'être atteinte pour l'apnéiste. Sur le plan cardio-vasculaire, la question n'est pas la profondeur atteinte, mais la vitesse de descente (compression), ou de remontée (décompression). En effet, pendant la descente se crée un déséquilibre de pression car notre cage thoracique, verrouillée sur un sternum, se déforme peu. Il existe donc une dépression intrathoracique, alors que la pression hydrostatique s'exerce sur tout le reste de l'organisme. La conséquence est très simple : un afflux sanguin intrathoracique, qui va se réfugier dans la seule zone disponible, la circulation pulmonaire. Ce phénomène appelé « blooshift », a été décrit il y a 40 ans, représente plus de 20% de la masse sanguine. Le bloodshift participe à la résistance mécanique de la cage thoracique. Il semble que la mise en place de ce bloodshift soit bien relativement tolérée, du moins jusqu'à présent. Cependant, il est clair qu'il existe une limite de vitesse de constitution du bloodshift, et celle-ci n'est pas connue. Tout ce qu'on sait, c'est que les mammifères plongeurs, mieux équipés que nous, ont des vitesses de descente en général inférieures à 3 $m.s^{-1}$ pour les plongées les plus profondes. La question est encore plus ardue en ce qui concerne la remontée. Le phénomène s'inverse et il faut imaginer une vidange du bloodshift, alors même que l'on sait que les fréquences cardiaques restent basses et que persiste la vasoconstriction périphérique jusqu'à la rupture de l'apnée.



Modèle circulatoire à deux compartiments illustrant le bloodshift (3).

Les accidents de décompression en apnée

Plusieurs accidents on été décrit d'abords chez les pêcheurs de perles en Polynésie. Le Taravana est un terme qui désigne la maladie de décompression des apnéistes. Ce mot vient en fait de "Tara" qui signifie tomber et de "Vana" qui veut dire fou; l'expression "Taravana" montrait bien à quel point les plongeurs en apnée de l'époque étaient désemparés face à cet accident. La saturation tissulaire en azote au cours des plongées en apnée a longtemps été considérée comme impossible. On pensait alors que les accidents de décompression chez les apnéistes ne pouvaient exister car ceux-ci ne plongeaient ni assez profondément et ni assez longtemps pour que la saturation soit suffisante. Toutefois, plusieurs mécanismes seraient susceptibles d'entraîner la formation de bulles circulantes chez les apnéistes :

- Après une seule plongée profonde en apnée (>150m) et suite à une remontée rapide, des bulles circulantes non pathologiques semblent pouvoir être produites lors du retour en surface de l'apnéiste et ce pendant plusieurs secondes après l'émersion. Ce phénomène fait plutôt penser à une saturation des tissus à période courte (sang).
- Les plongées répétées pendant plusieurs heures à des profondeurs moins importantes (20 mètres) mais associées à des récupérations courtes en surface peuvent également conduire à l'accumulation d'azote dans les tissus de courtes voir de plus longues périodes. Le phénomène et les symptômes se trouvent bien sur amplifiés lors de plongées répétitives plus profondes (>30m).

Ces bulles sont à l'origine d'accidents de décompression le plus souvent bénins (vertiges, nausées, angoisses) mais aussi neurologiques **(5)**.

Plusieurs conditions doivent être réunies pour favoriser la formation d'embolies gazeuses : profondeur, temps d'apnée, vitesse de remontée et récupération entre chaque apnée. Ainsi, une vitesse de remontée rapide (>1,5 à 1,8 $m.s^{-1}$) avec l'existence d'un rapport de pression supérieur à 3 associés à un exercice musculaire pendant la remontée sont des facteurs de risque aggravants. Ces conditions extrêmes sont rencontrées chez certains chasseurs sous-marins

utilisant un locoplongeur, des ceintures dites "largables" ou chez certains apnéistes pratiquant le "No Limits" où la remontée est facilitée par un parachute. Ces facteurs contribuent à augmenter la durée de l'apnée, la profondeur et à diminuer les temps de récupération en surface. Les apnéistes entraînés ont également une forte accoutumance à l'hypercapnie, ce qui peut jouer un rôle dans la formation de bulles. D'autre part, comme pour tout accident de décompression, le froid, l'âge, la fatigue et l'effort musculaire sont susceptibles de constituer des facteurs de risques dans ce type d'accident.

Quelles sont les limites?

Plusieurs solutions ont été précisées **(4)** pour réduire les risques d'une pratique intensive en apnée. Récemment, plusieurs calculs réalisés avec les tables CXO6 issues de la plongée loisir, laissent entrevoir la nécessité de longs intervalles entre chaque apnée.

Il faut cependant rappeler qu'à cette date aucune bulle n'a jamais été détectée après des plongées en apnée répétées et/ou profondes. L'origine des accidents type "décompression" après apnées, est donc probablement différente de celle en plongée "bouteille" (origine artérielle due à une levée trop rapide du "blood-shift" ?). La poursuite des détections des bulles circulantes après apnées reste donc nécessaire.

Conseils : du bon sens

Il convient donc de rappeler les conseils élémentaires et habituels de prudence comme pour tout accident de décompression.

- Essayer de vous relâcher le plus possible au cours de vos apnées,
- Travaillez au moins par deux et plongez chacun votre tour pour augmenter votre temps de récupération (aussi bien en chasse sous-marine qu'en apnée),
- Si vous êtes fatigués, ne plongez pas trop profond,
- En "No Limit", lâchez votre parachute près de la surface afin de réduire dans les derniers mètres votre vitesse de remontée,
- Si vous vous sentez mal après une apnée profonde, stoppez votre entraînement et suivez la procédure habituelle préconisée en cas d'accident de décompression,
- Utilisez un ordinateur de plongée spécifique à l'apnée pour quantifier la quantité de plongée effectuée par heure,
- Et surtout planifiez votre entraînement, rien ne doit être improvisé!

La Carpe ?

De nombreux apnéistes utilisent une technique pour augmenter leur volume pulmonaire. Elle consiste, en fin d'inspiration profonde, à réaliser des mouvements de bascule postérieure de la langue. L'augmentation de volume intrapulmonaire est non négligeable. Cette manœuvre, appelée communément la « carpe », permet un gain de 9 à 40 % de la capacité vitale, soit 1,5 à 2,5 litres. Cette augmentation de volume initial permet probablement d'augmenter le temps d'apnée et la profondeur d'immersion. Toutefois, la pression intrathoracique peut gêner le retour veineux et engendrer une perte de connaissance essentiellement en apnée statique. Par ailleurs, l'élasticité pulmonaire n'est pas sans limite. Il a été montré chez des apnéistes pratiquant la carpe des lésions alvéolaires. Par conséquent, il convient de mettre en garde sur les

risques et sur les effets à long terme que cette manœuvre peut occasionner sur la fonction pulmonaire.

Les œdèmes pulmonaires

Il a été rapporté quelques cas d'hémoptysie (crachement de sang d'origine pulmonaire) après des plongées en apnée **(6)**. L'explication physiopathologique serait la suivante : lors de la descente, la dépression thoracique, importante, crée une aspiration entraînant l'afflux de sang dans les capillaires pulmonaires (*blood shift*). Dans certaines circonstances, ce sang pourrait provoquer des hémorragies intra-alvéolaires par rupture de la paroi capillaire. Les contractions volontaires ou non du diaphragme pourraient favoriser ces ruptures alvéolaires.

Les risques à long termes ?

Très peu d'étude ont porté sur les risques à long termes des apnéistes. Une première étude a montré que des apnées répétées pouvaient augmenter les risques d' hypertension artérielle à cause des vasoconstrictions et des hypoxies répétées. Une autre étude a porté sur les éventuelles complications neurologiques des apnéistes, mais aucune séquelle neurocognitive n'a été observée. Toutefois, nous ne pouvons que mettre en garde les apnéistes qui s'exposent à des syncopes ou sambas de manière répétées.

Bibliographie

1. Otis A., Rahn H., Fenn W. Alveolar gas exchanges during breath-holding. *Am J Physiol*, 1948, 152, p. 674-686.
2. Lindholm P. Loss of Motor Control and/or Loss of Consciousness during Breath-Hold Competitions. *Int J Sports Med.*, 2006.
3. Lemaitre F. L'apnée : de la théorie à la pratique. 426p. Eds PURH, 2007.
4. Héran N. Les plongeurs en apnée peuvent-ils présenter une maladie de décompression. Thèse de médecine, Montpellier, 1990, 84p.
5. Kohshi K, Katoh T, Abe H, Okudera T. Neurological accidents caused by repetitive breath-hold dives: two cases reports. *J Neurol Sc*i 2000, 178: 66-69.
6. Boussuges A., Pinet C., Thomas P., Bergmann E., Sainty J. M., Vervloet D. Haemotysis after breath hold diving, *Europ Respir J* 1999, no 13, p. 697699.

APNEE DYNAMIQUE ET ENTRAINEMENT

Stig Åvall Severinsen, Denmark
Msc Biology/PhD Medicine
4 x Freediving World Champion
www.planetfreedive.dk

Résumé

Free diving is done on a single breath. It is a fascinating sport where mental control and physical preparation keep moving the barriers for human performances. As in many challenges in life, the psychological aspects are far more important than the physiological. The optimal balance between mental and body control yields the best results and it is interesting to investigate the parameters which decide the outcome. Training and preparation in the pool, gym and the sea can be done in several ways as can the mental training. Maximum (or multiple sub-maximum) dives, as well as interval and sprint diving, are important and efficient methods to improve tolerance for hypoxia and hypercapnia. These diving exercises also increase different enzymatic activities and prepare the body and mind for high levels of lactic acid. Relaxation, visualization, concentration, breathing and autogenic techniques are key elements for successful dives as these quite rapidly can induce a flow-like trance, a low (or maybe even hypo-) metabolic state, which is also supported by a strong diving reflex. This reflex can be trained and different strategies such as no-warm up or multiple warm ups can be employed. Interestingly, the two antagonistic strategies seem to work very differently in different persons which probably depend on the mental and physical frame of the individual.

Mots clefs : Mental / physical preparation, hypoxic / hypercapnic tolerance, relaxation / concentration / breathing, diving reflex, warm up strategies.

1. Freediving from the dawn of man into the future

Apnea stems from Greek meaning without air or breath. When done under water, it is popularly known as freediving, and man has performed this activity since the dawn of time. A lot of scientific studies were carried out on diving marine mammals and humans in the 1960´s and 1970´s, and the understanding of the mammalian diving response expanded. Especially bradycardia and peripheral vasoconstriction were hot topics. During the last 10 years or so, a new wave of research in human freediving physiology has started and a lot more has been learned.

It is now known that the diving response is highly trainable (1) and that especially the heart undergo magnificent changes during breath-holding (2). The spleen also seems to be a very important organ in freediving and especially the phenomenon of spleen-contraction (3, 4) which will increase levels of both haemoglobin and erythropoietin in the blood (5, 6). Another organ of obvious interest and relevance is the lungs. Forcing extra air into the lungs after a full inhalation (known as glossopharyngeal inhalation/insufflation, carpe or simply “packing”), also has been shown to increase apnea performances. Especially if the mental state is such that the CO_2 breathing response can be overruled, leaving O_2 as the limiting factor (7). Recently is has also been shown that lung size (vital capacity) can be increased in normal people and elite swimmers after doing simple packing exercises for 5-6 weeks (8, 9). However, packing can be potentially very dangerous and should be done only under controlled conditions and never too excessive (10).

Elite freedivers are developing and controlling their psychology and physiology under extreme conditions, pushing body and mind to the limit, and this is exactly where new discoveries are made. This is not only a fascinating demonstration of human potential and plasticity but also highly relevant to people outside the world of freediving. The physiological aspects apply especially for athletes in other sport disciplines and, more importantly, in health science, where freediving techniques can be implemented in prevention, treatment and rehabilitation. The mental aspects concerning relaxation, visualization, concentration and new ways of thinking can be used by the general public in everyday living and by companies in business development and management. Freediving has so much to offer – consciousness of breathing, awareness of body and diet and, not least, focus on the environment and other living creatures.

2. Preparation and training for dynamic apnea

Dynamic apnea (long distance under water swimming) can be done with or without fins. Both disciplines are usually performed in the swimming pool. When swimming without fins a 25m pool is often preferred because the many turns add extra "free" meters to the dive whereas a long pool is generally preferred in the fin discipline, especially when using a monofin.

The mental preparation is obviously very individual but the goal is to find the optimum tension – not too stressed (nervous) and not too relaxed. Making "serious" dives in training several times per week is an excellent exercise and will strengthen the natural conditioning (reflex). When it becomes a part of you to think about what you eat (not too much sugar, alkaline foods etc), what air you breath, what sport you do the days before and what to think about or visualize just before entering the water your maximum performances will increase. Another important aspect of doing "serious" competition-like dives often is that pushing your body to the maximum will make you accustomed to high levels of lactic acid and CO_2, as well as very low levels of O_2. Your enzymatic machinery and cellular respiration will change and make you more fit for both aerobic and anaerobic exercise.

Optimizing your body pH and cellular condition by training and diet can be a great help: bicarbonate and other "acid-neutralizing" agents can increase work capacity, nitrogen oxid can increase pulmonary O_2 uptake/increase mitochondrial efficiency, antioxidants and salts such as calcium and potassium aid in neuromuscular work etc. Training interval swimming (eg. 16 x 50m underwater with very short breaks) or progressive surface swimming (eg. 8 x 100m "sprint"/submaximal) and maximal long dives will stimulate and condition cell cycles for hypercapnic/hypoxic performance. Wearing a tight swim suit (with legs) is also sometimes used in order to constrict blood flow and delay/concentrate lactic acid accumulation. Also swim suits decrease water resistance and, probably more importantly, keep the muscled constricted thereby increasing muscle-energy transformation into forward displacement. Streamline is more important than speed and the best way to be streamlined is to use a well balanced neckweigth. Stretching exercises, flexibility and enduring small volume muscles is also mandatory. Amplitude and frequency in both arm and leg movement have to be balanced with speed and well coordinated. In general amplitude and frequency should be minimal in front and larger as well as faster towards the end of the body. Water position in the pool is also highly important and the dives should neither be too close to the surface nor to the bottom. Bottom diving, however, will increase the diving response and decrease the natural buoyancy. The speed has to be related to work load – faster is not better – usually the opposite. Minutes before starting slow deep breathing (eg. ujjayi pranayama) will increase concentration, decrease heart rate, saturate blood with oxygen and decrease the level of carbondioxide slightly. Visualizing a slow movement or a comfortable place will aid to the deep relaxation as will a short mantra (sound made by breathing or inner voice repetition).

Starting the dive with absolutely no warm-up will increase the diving response but it has to be trained regularly. Some people do not like this approach which is very challenging on the mentale side because the dive is “harder”. Doing regular warm ups will increase blood haemoglobin levels and make the dive “easier” if done properly. Both strategies work in different conditions and have to be well understood on a personal level by every athlete. The complexity of the body physiology mixed with the mental parameters make freediving a fantastic discipline which keeps offering new solutions on how to be a human being.

Bibliographie

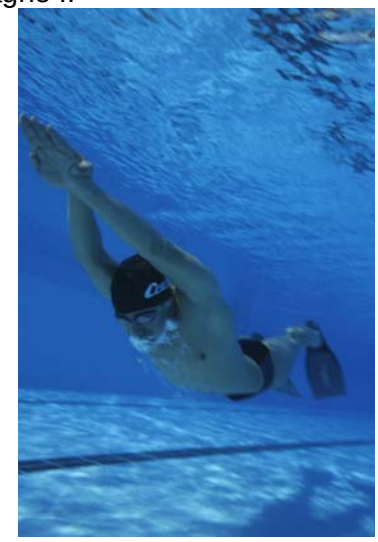
1. Schagatay E, J Andersson, Diving response and apneic time in humans. *Undersea & Hyp Med*. 25:13-19. 1998.
2. Pingitore A, Gemignani A, Menicussi D, Di Bella G, De Marchi D, Passera M, Bedini R, Ghelarducci B, L´Abbate A. Cardiovascular response to acute hypoxemia induced by prolonged breath holding in air. *Am. J Physiol Heart Circ Physiol* 294: 449-455, 2008
3. Schagatay E, Andersson JPA, Hallén M, Pålsson B. Role of spleen emptying in prolonging apneas in humans. *J Appl Physiol*, 90: 1623-1629, 2001
4. Hurford WE, SK. Hong, YS. Park, DW.Ahn, K Shiraki, M. Mohri, W.M. Zapol. Splenic contraction during breath-hold diving in the Korean Ama. *J Appl Physio*l 69(3): 932-936, 1990
5. Richardson M, R deBruijn, HC Holmberg, G Björklund, H Haughey, E Schagatay. Increase of hemoglobin concentration after maximal apneas in divers, skiers and untrained humans. *Canadian J Appl Physiol* 30(3): 276-281, 2005
6. De Bruijn R, Richardson M, Schagatay E. Increased erythropoietin concentration after apneas in humans. *Eur J Appl Physio*l. 102(5): 609-13, 2008
7. Overgaard K, Friis S, Pedersen RB, Lykkeboe G. Influence of lung volume, glossopharyngeal inhalation and P_{et} O_2 and P_{et} CO_2 on apnea performance in trained breath-hold divers. *Eur J Appl Physiol*. 97(2): 158-64, 2006
8. Nygren-Bonnier M, Lindholm P, Markström A, Skediger M, Mattsson E, Klefbeck B. Effects of glossopharyngeal insufflation on vital capacity in healthy women. *Am J Phys Rehabil*. 86(4): 290-94, 2007
9. Nygren-Bonnier M, Gullstrand L, Klefbeck B, Lindholm P. Effects of glossopharyngeal pistoning for lung insufflation in elite swimmers. *Med Sci Sports Exerc*. 39(5): 836-41, 2007
10. Lindholm P, Muth CM, Severinsen SÅ. Neurological symptoms after glossopharyngeal insufflation (lungpacking) in breath-hold divers suggesting cerebral arterial gas embolism. UHM 2007, Vol. 34, No. 4 - Abstracts from UHMS ASM 2007

ENTRAINEMENT ET PREPARATION MENTALE

Stéphane Mifsud
MAIL : mifsud.stephane@wanadoo.fr
Site : www.mifsudstephane.com

Résumé

Le paradoxe de l'apnée statique, discipline de l'immobile, à la surface d'une piscine, c'est l'incroyable violence faite au corps durant l'épreuve. « Un long voyage au bout de soi », nous dit souvent Stéphane, ancien détenteur du record du monde d'apnée dynamique, 213 mètres parcourus sur une goulée d'air. Avec l'aide d'un coach auprès de lui durant toute l'immersion, qui encourage, égrène les minutes et peut décider d'interrompre l'apnée, Stéphane Mifsud va entreprendre ce voyage que les marathoniens connaissent bien. « Comme un marathon, ce ne sont pas forcément les derniers instants les plus difficiles. De toute façon, au bout de trois minutes environ, j'ai envie de respirer. » Le plaisir de l'apnée s'arrête à ce moment-là ! « Après, la lutte commence », ballet entre vie suspendue et sensation de mort. Des minutes longues comme des heures, où, immobile, il faut s'efforcer de ne penser à rien. « À la différence de l'apnée en déplacement, où on a la sensation de glisse dans l'eau, de la descente vers le fond, dans l'apnée statique seules des informations négatives parviennent du corps. L'idéal, c'est de s'endormir », confie Stéphane Mifsud. Se retrouver comme le soir dans son lit, dans un demi-sommeil, où une fraction de seconde, croit-on, a en fait duré quelques minutes. C'est alors que sa fréquence cardiaque tombe à vingt pulsations par minute. L'apnéiste consomme le plus lentement possible le précieux oxygène emmagasiné dans les poumons, dix litres d'air pour Stéphane Mifsud, grâce à la technique de la « carpe » qui consiste à comprimer de l'air. Aujourd'hui, les apnéistes de haut niveau comme Stéphane sont des sportifs complets, rament, pédalent, s'étirent, travaillent respiration et préparation mentale. Stéphane s'est préparé pour son nouveau record d'apnée statique depuis six mois. Ils ne sont qu'une poignée en France à pouvoir vivre de l'apnée, entre sponsors et école de plongée. Là où les pionniers repoussaient les records en piochant dans le yoga et le mysticisme encore au début des années quatre-vingt-dix, les apnéistes d'aujourd'hui peaufinent leur alimentation, et malmènent le corps « parce qu'une machine poussée, bien réglée, devient économe en oxygène ». C'est la fin de son apnée, d'abord les oreilles qui émergent de l'eau, « pour s'extraire du monde aquatique et retrouver le brouhaha de l'univers terrestre », puis le visage tout entier, livide, lèvres bleuies par le manque d'oxygène. Trois inspirations, et l'apnéiste doit prouver aux juges, sans trembler, qu'il est revenu sain et sauf de son voyage. 10min 04s, c'est gagné !!



Mots clefs : Préparation mentale, apnée statique.

HISTOIRE ET EVOLUTION DE L'APNEE MODERNE

Cédric Palerme
MAIL : palerme@gmail.com

Résumé

Il est passionné de mer, de Cousteau et de Mayol et passe sa vie la tête sous l'eau depuis tout petit. Cédric s'intéresse aussi durant ses études à la biologie et aux comportements animaux...En 2000, il découvre enfin la plongée bouteille lors d'une année passée à St Barth, Antilles françaises...En rentrant en France, Cédric se rapproche du groupe d'apnéistes niçois (Claude Chapuis, Loïc Leferme, Olivier Heuleu, Guillaume Nery, Jean-Michel Pradon, Pierre Frolla, etc...) durant les championnats du monde d'apnée organisés à Nice (septembre 2000), parce que l'apnée c'est moins cher...Puis il devient apnéiste assidu du club, si assidu qu'il est embauché comme moniteur d'apnée au CIPA, club de Loïc Leferme, en juillet 2002. A partir de là tout s'enchaîne très rapidement. Il participe à l'organisation du 4ème record du monde de Loïc (-162m), du premier record du monde de Guillaume (-87m) et à sa première grosse compétition en tant qu'athlète à Chypres en avril 2003 (plus grosse compétition internationale de l'année). La même année, en 2003, il devient juge International AIDA, et secrétaire-trésorier de AIDA France. En 2004, il participe à l'une des plus compétitions internationale de l'année à Chypres en tant que Juge international et devient président d'AIDA France. Puis il participe à l'organisation du 5ème record du monde de Loïc à -171m. 2005 fut marquée par son implication de plus en plus importante et incontournable au sein d'AIDA avec son entrée au comité directeur de AIDA International comme "Technical Officer" et l'organisation du premier "Nice AIDA Open", grosse compétition internationale à Nice en mai, et des championnats du monde en mer à Nice en septembre. En 2006, Cédric organise le deuxième "Nice AIDA Open", et le 3ème record du monde de Guillaume en poids constant à -109m. Cédric a également été en 2007 avec Claude Chapuis à l'initiative du rapprochement AIDA France-FFESSM avec les premiers accords attendus depuis très longtemps signés entre les deux institutions. En 2007, Cédric est responsable des entraînements de Loïc...malheureusement lors d'un de ces entraînements, Loïc sera victime d'un accident et disparaîtra. Ce drame a remis beaucoup de choses en question dans la vie du groupe niçois en général et de Cédric en particulier. Il reste toutefois toujours très impliqué dans la vie d'AIDA France, d'AIDA International, du CIPA, du groupe niçois et de la famille de Loïc...Voici donc en quelques mots résumé la vie de Cédric Palerme.

Mots clefs : Histoire, apnée, futur

Cédric PALERME, né à ANTIBES en 1974...