

**LATHUILLERIE  
OLIVIER  
PCEM 2**

*professeur responsable :*  
**M. VIANNEY MASCRET**

Année universitaire 2001.2002

Dossier option sport

# **APTITUDE A LA PLONGEE ET APPAREIL CARDIO-VASCULAIRE**

## **SOMMAIRE :**

### *INTRODUCTION*

#### **1-Les contraintes environnementales**

- a)L'immersion
- b)Le froid
- c)La pression hydrostatique
- d)La toxicité des gaz
- e)La décompression

#### **2-Les tests d'adaptation à l'effort**

- a)Le test de Ruffier
- b)Le « Systolie Tension System »(STT)
- c)Le test de Cooper

#### **3-Les examens complémentaires**

#### **4-Aptitude et contre-indications**

#### **5-Recommandations**

*CONCLUSION*  
*BIBLIOGRAPHIE*

# *Aptitude à la plongée et appareil cardio-vasculaire*

## INTRODUCTION

**L**a plongée sous-marine, activité physique parfois contraignante, est un sport exigeant. Habituellement la logique du système sportif tout entier est dépendant de la recherche du rendement et de la compétitivité. La plongée sous-marine, à l'opposé, n'est pas compétition et ne doit pas être le domaine des conquérants de l'inutile et de l'impossible exploit, du voyage aux limites du pathologique afin de transgresser les « frontières du physiologique ».

La plongée est donc un sport aux conditions particulières. Les effets sur l'appareil cardio-vasculaire sont nombreux car : tout d'abord, les écart thermiques peuvent être important (c'est pour cela qu'il vaut mieux toujours mettre une combinaison) ; la pression ambiante est très importante et elle augmente de 1 bar tous les 10 mètres ; la pesanteur s'exerçant dans tous les sens favorisant le retour veineux ; un régime respiratoire particulier et enfin, le stress émotif qui majore le tonus vagal.

## 1- Les contraintes environnementales

- a - L'immersion
- b - Le froid
- c - La pression hydrostatique
- d - La toxicité des gaz
- e - La décompression

### a - L'immersion :

Le décubitus entraîne une augmentation de la pré-charge ( redistribution de la masse sanguine) donc il y a alors augmentation du travail cardiaque.

Le contact de l'eau avec la face amène une bradycardie donc, augmentation de la pré-charge et du travail cardiaque.

Les bradycardies observées expérimentalement chez des plongeurs entraînés peuvent être de 15 / minute jusqu'à 6 / minute sans troubles symptomatiques.

Remarque: il existe lors de l'immersion en apnée, un réflexe de vasoconstriction périphérique identique à celui des mammifères marins.

## **b - Le froid :**

La neutralité thermique à l'air est à 27°C, dans l'eau elle est à 33°C.

Les pertes thermiques cutanées par conductibilité sont multipliées par 25.

Les pertes thermiques respiratoires sont multipliées par 6 quand le mélange contient de l'Hélium.

3

L'exposition cutanée entraîne vasoconstriction

L'hypothermie modifie l'aspect électrocardiographique, il y a donc un risque de fibrillation ventriculaire

**Remarque :** risque de bronchospasme au gaz froid, chez le sujet hyper-réactif.

Donc :

L'exposition de la face induit une bradycardie

L'exposition cutanée amène une vasoconstriction périphérique

=> augmentation de la post-charge => poussée d'hypertension artérielle.

**Remarque :** Contre-indication de la plongée si l'hypertension artérielle n'est pas stabilisée.

## **c - La pression hydrostatique :**

### **1 - Les effets sur le métabolisme cellulaires :**

Sur les neurones (Syndrome nerveux des hautes pressions = SNHP):

- . Hyperexcitabilité neuronale
- . Diminution de la transmission synaptique

Sur le myocarde, à haute pression, il y a une bradycardie par effet:

- . chronotrope -
- . bathmotrope -
- . dromotrope -
- . inotrope +

Lors des plongées expérimentales en saturation, une bradycardie s'installe en 3 jours, sans modification de la fraction d'éjection systolique.

### **2 - L'augmentation des masses volumiques des gaz :**

Le travail ventilatoire au repos est multiplié par 4 si la densité des gaz respirés est de 10 grammes / litre.

L'air à pression atmosphérique a une densité de 1,23 g/l; sa densité à 50 mètres est de 7 g/l.

Pour les grandes profondeurs on utilise des gaz plus légers:

Héliox (Hélium + Oxygène) dont la densité est de 7 g/l à 350 m et

Hydréliox (Hydrogène + Hélium + Oxygène) dont la densité est de 11 g/l à 700 m.

=> Interactions cœur-poumons : la densité des gaz entraîne une dépression respiratoire qui :

- retentit sur la fonction diastolique et augmente la post-charge,
- entraîne des modifications électrocardiographiques qui sont proportionnelles à la pression avec augmentation de l'amplitude de l'onde T et variation des axes.

**Remarque :** en plongée à l'air à 50 m on se trouve dans les mêmes conditions que les plongeurs à saturation à 350 m, avec le froid en plus et la surveillance médicale en moins...

### **d - La toxicité des gaz :**

Les gaz inertes : du plus, au moins narcotique : Azote > Hydrogène > Hélium.

Leur toxicité myocardique est inconnue.

L'oxygène : le plus toxique de tous :

Toxicité myocardique à 3 ATA (l'air à 50 m = 1,26 ATA):

-> diminution de la perfusion coronaire,

4

-> augmentation des résistances périphériques par vasoconstriction.

Donc on a une bradycardie par hyperoxie et une augmentation de la post-charge et risque de vol coronarien.

### **e - La décompression**

L'O<sub>2</sub> est consommé, le CO<sub>2</sub> est éliminé et les gaz inertes (Azote, Hydrogène, Hélium) sont stockés.

Au cours d'une plongée l'organisme est saturé en gaz inertes plus ou moins rapidement en fonction du type de compartiment, il y a des:

- tissus rapides : sang (2 à 3 mn)
- tissus moyens : muscles (quelques mn à 1 h)
- tissus longs : moelle et les plexus veineux qui l'entourent, à circulation lente et aléatoire. (2 à 3 h)

« On ne paie qu'en sortant » : la décompression élimine les gaz inertes avec des protocoles longs et complexes.

Il faut favoriser le dégazage sans saturer le filtre pulmonaire.

L'existence de shunts droit-gauche peut entraîner des embolies paradoxales.

Toute augmentation de la pression artérielle pulmonaires gêne le remplissage ventriculaire gauche et entraîne un risque de passage de bulles systémiques et donc d'embolies paradoxales.

**Remarques :**

- Toute cardiopathie avec shunt, même opérée, est une contre-indication formelle de la plongée.

**Illustration :** Présentation d'un film d'échographie cardiaque lors d'une décompression HydrélioX : un nuage de bulles se forme dans les cavités droites; chaque systole expulsant les bulles dans la circulation pulmonaire; simultanément les cavités gauches reçoivent le sang filtré par les poumons. L'intégrité du filtre pulmonaire se doit d'être parfaite...

**Remarque :** La recherche d'un foramen ovale perméable (FOP) n'est pas systématique même chez les plongeurs professionnels, mais **il doit être recherché** après un accident et sa découverte est une **contre-indication définitive à la plongée**.

## **2-Les tests d'adaptation à l'effort**

### a)-Le test de RUFFIER

Il donne une bonne appréciation de la forme physique et se pratique de la façon suivante :30 flexions sur les jambes en 45 secondes. Le pouls étant noté au temps 0(p0) ;à la fin du test (p1) et une minute après(p2) ;on peut ainsi calculer par la formule suivante l'indice de Ruffier :

$$\frac{(p0+p1+p2)-200}{10}$$

On apprécie la forme du sujet avec cette échelle :

- + excellente si négatif
  - + très bonne si comprise entre 0 et 5
  - + bonne si comprise entre 5 et 10
  - + médiocre si comprise entre 10 et 15
- Il y a un problème si c'est supérieur à 15.

5

Ce test permet un contrôle de l'entraînement ,mais en fait la valeur des trois chiffres est beaucoup plus intéressante que le calcul lui-même :

\*p0 diminue au fur et à mesure que le sujet s'entraîne

\*p1 est de moins en moins élevé en raison de l'adaptation cardio-vasculaire pendant l'effort.

\*p2 diminue aussi progressivement avec l'amélioration de la phase de récupération Ainsi , chez un sujet en pleine forme ,p2 diffère peu de p0.

Mais il faut toujours avoir en tête que ces résultats n'ont pas la même signification pour tous les individus, que ce test n'est pas forcément reproductible et qu'il doit toujours être fait à la même heure et dans les conditions d'environnement le loin de tout effort.

Un bon entraînement doit faire baisser la valeur de l'indice.

Le résultat ne peut à lui seul faire contre-indiquer la plongée ;mais si l'indice est mauvais ,il faudra alors faire pratiquer des examens complémentaires :échocardiographie ou ECG d'effort.

Le test de Ruffier est donc fiable et garde toute sa valeur pour des examens de masse car il a l'avantage de pouvoir être effectué dans un temps relativement court et sans matériel onéreux.

### 2-Le STT :Systolie Tension System

Il consiste à faire effectuer des montées et des descentes d'une marche de 40 cm de hauteur ,pendant 3 minutes et à raison de 24 montées par minute. On note la fréquence cardiaque et la pression artérielle systolique pendant la minute suivant l'effort. La valeur du STT est donnée par la formule suivante : $STT=Fc \cdot PAS$ (en mmHg).On distingue alors 4 catégories selon les résultats :

-si inférieur à 16000 :excellents

-si compris entre 16000 et 20000 :bons

-si compris entre 20000 et 25000 :moyens

-médiocre si au-dessus de 26000.

### 3-Le test de COOPER

Il s'agit d'une mesure indirecte de la VO2.La consommation maximale d'oxygène à l'effort(VO2 max) est le plus souvent évaluée sur tapis roulant ou sur bicyclette ;de façon directe ou indirecte.

La méthode d'Astrand (façon indirecte) consiste en l'extrapolation à partir d'une fréquence cardiaque obtenue pour un effort donné de la VO<sub>2</sub> max.

Elle exprime la valeur absolue de la performance cardiaque aérobie maximale. Les facteurs génétiques étant le système oxydatif musculaire (les fibres musculaires squelettiques), le fonctionnement cardiaque (le volume systolique maximal) et l'équilibre du système nerveux végétatif. Un entraînement physique important peut accroître la valeur basale génotypique de 10 à 30 %.

Les valeurs de la VO<sub>2</sub> max sont de 45 ml/min/kg pour un sédentaire. Elles peuvent même dépasser les 70 ml/min/kg chez les sportifs qui font de l'endurance de haut niveau physique. ATTENTION !! Toute épreuve d'effort est potentiellement dangereuse et une suspicion de rétrécissement aortique, d'insuffisance coronarienne ou de cardiomyopathie doit faire renoncer à ces efforts.

### ***3-Examens complémentaires (dont l'ECG)***

Ils permettent d'affiner les données et de donner un diagnostic précis.

Il y a la radiographie, la radioscopie, l'échocardiogramme, le doppler et l'ECG. Nous détaillerons plus ici **l'électrocardiogramme**.

L'ECG enregistre les variations de potentiel électrique résultant de la dépolarisation-repolarisation de l'ensemble des cellules cardiaques, en fonction du temps. Ces variations de

6

potentiel sont propagées par les différents tissus et recueillies à la surface cutanée par l'intermédiaire d'électrodes.

Le départ de l'activation provient normalement du nœud sinu-atrial (ou nœud sinusal), se propage dans les oreillettes, puis au nœud auriculo-ventriculaire, au faisceau de His, à ses branches droite et gauche, et au myocarde ventriculaire par l'intermédiaire du réseau de Purkinje : la dépolarisation a alors été généralisée.

Sur le tracé, - l'onde **P** correspond à la dépolarisation des oreillettes. Normalement, P est inférieur à 0.08 à 0.11 s.

- l'espace **PR** est isoélectrique. Mesurée du début de l'onde P au début du QRS, l'espace PR (ou PQ) dure de 0.12 à 0.2 s.

Si cet espace est supérieur à 0.2 s : il y a alors un trouble de la conduction auriculo-ventriculaire correspondant à un bloc auriculaire de type 1.

- le complexe **QRS**, a une durée normale qui varie de 0.06 à moins de 0.10 s.

Un bloc de branche incomplet (ralentissement de conduction dans une branche du faisceau de His) entraîne un QRS qui dure de 0.10 à moins de 0.12 s.

Quand c'est supérieur à 0.12 s, il s'agit d'un bloc de branche complet, à droite ou à gauche.

- le segment **ST** : il est normalement isoélectrique, mais peut-être situé un peu au-dessus ou en dessous de la ligne de base en fonction de l'onde T.

**L'ECG** fait parti de l'examen systématique de la fiche de le FFESSM. Il permet la découverte de **diverses anomalies** :

\*En fonction de l'âge du sujet, du facteur de risque et du contexte clinique ; on appréciera les troubles de la repolarisation. S'il y a le moindre doute chez un sujet de plus de 40 ans, on fera alors un ECG d'effort. Ce dernier est considéré comme normal si les troubles de la repolarisation

régressent à l'effort. Par contre ,si les anomalies persistent ou augmentent ,il faudra alors suspecter une insuffisance coronarienne. Il est possible que l'on fasse alors pratiqué une scintigraphie au thallium ou même une coronarographie.

*\*Les blocs de branche :*

Un bloc de branche gauche doit être observé en échocardiogramme car il est souvent le témoin d'une cardiopathie débutante et obligera alors à l'arrêt de la pratique sportive.

Un bloc de branche droit complet n'oblige pas à l'arrêt de la pratique sportive et ne nécessite qu'une surveillance électrocardiographique régulière.

\*Un bloc auriculo-ventriculaire du deuxième degré de type 2 devra être exploré par un Holter et par un enregistrement endocavitaire du faisceau de His.

**\*Le syndrome de Wolff-Parkinson-White** peut être diagnostiqué par l'ECG et il est défini par les critères suivants :PR court, inférieur à 0.12 seconde ,QRS élargi par épaissement de l'onde R(onde delta).

L'existence d'une voie accessoire auriculo-ventriculaire très perméable, avec une période réfractaire courte ,expose au risque du déclenchement d'une fibrillation ventriculaire en cas de survenue d'une fibrillation auriculaire.

MAIS,les modifications du coeur fonctionnel se normalisent à l'effort et n'existent que chez les sportifs de haut niveau qui s'entraînent beaucoup.

## **4 - Aptitude cardio-vasculaire à la plongée ,contre-indications**

7

Deux cas de figure:

\* Chez les professionnels, les militaires et les plongeurs spéléologues : l'examen doit être parfait sur le plan cardio-vasculaire.

\* Chez les plongeurs sportifs, la tolérance peut être élargie mais certaines pathologies contre-indiquent automatiquement la plongée :

- Cardiopathie de stade II (augmentation du travail cardiaque en plongée).
- Trouble du rythme, bloc auriculo-ventriculaire, traitement  $\beta$  bloquant (la bradycardie en plongée, risquant de provoquer une syncope; les  $\beta$  bloquants favorisent le bronchospasme).
- HTA sévère ou mal contrôlée (augmentation de la tension artérielle en plongée).
- Cardiopathie ischémique (augmentation du vol coronarien en plongée).
- Cardiopathie droite (augmentation des pressions artérielles pulmonaire et interaction coeur-poumons en plongée).
- Shunts (FOP), valvulopathies, cardiomyopathies obstructives (passages ou augmentation des bulles lors de la décompression).
- Valves cardiaques.
- Traitement anticoagulant.

*Les tableaux qui suivent récapitulent les contre-indications cardio-vasculaires à la plongée*

## 5-Quelques recommandations

### \*pathologies cardio-vasculaires liées aux explosions sous-marines

La symptomatologie est celle d'un état de choc avec collapsus qui peut avoir pour origine la surcharge ventriculaire droite due aux dommages de la petite circulation ,des lésions des gros vaisseaux, l'hypovolémie ,l'hypoxie due aux lésions pulmonaires ou une embolie gazeuse .Il n'y a pas de modifications spécifiques de l'électrocardiogramme : le myocarde, hormis d'éventuelles ischémies ou nécrose est sain, alors que les gros vaisseaux peuvent présenter des déchirures de leurs différentes tuniques.

- L' examen clinique complet est très important ;l'interrogatoire ne doit aucunement être négligé.
- Un électrocardiogramme doit systématiquement être pratiqué pour les sujets ayant dépassé les 40 ans.
- Il faut faire un échocardiogramme si l'on est pas certain de la non organicité d'un souffle ou s'il existe une anomalie électrocardiographique.
- En cas de suspicion d'insuffisance coronarienne ou de troubles du rythme à l'effort et en présence d'une hypertension artérielle ,alors il faut faire un ECG d'effort.
- Chez les patients de plus de quarante ans désirant pratiquer la plongée, il faudra rechercher une insuffisance coronarienne latente asymptomatique. Les épreuves d'effort sont ici très importantes et elles sont d'autant plus indispensables qu'il s'agit d'un sujet sans pratique sportive régulière antérieure.
- Il faut penser aussi aux risques personnels et familiaux tels que le tabac ,la dyslipidémie, le diabète, l'hérédité ou encore l'hypertension artérielle.

## CONCLUSION :

L'examen clinique cardiologique complet n'est pas (encore) obligatoire en France pour le passage du niveau 1, certainement pour des soucis d'économie qui ne sont peut-être pas justifiés. En effet, un certificat d'aptitude ou de non contre-indication délivré par un médecin généraliste est suffisant. Ailleurs, comme en Australie ou aux USA, des tests sont obligatoires. La surveillance cardio-vasculaire d'un athlète ou d'un amateur, d'un cardiaque ou non, sera de plus en plus attentive au fur et à mesure des années. Mais ces règles sont bien-évidemment à adapter à chaque cas.

## BIBLIOGRAPHIE :

\*Physiologie et médecine de la plongée

*Ellipses, B. Broussolle, 1992*

\*La plongée sous-marine sportive, 3<sup>ème</sup> édition

*Masson, JP Bonnin / C Grimaud / JC Happey*

*J-M Strub / P Cart*

\*A propos de l'électrocardiogramme d'effort chez le sportif

*EMC, 1995, J L Jullien*

- [www.ffessm.fr](http://www.ffessm.fr)
- [www.chu-grenoble.fr](http://www.chu-grenoble.fr)