# Entrainement – préparation physique – Plongée

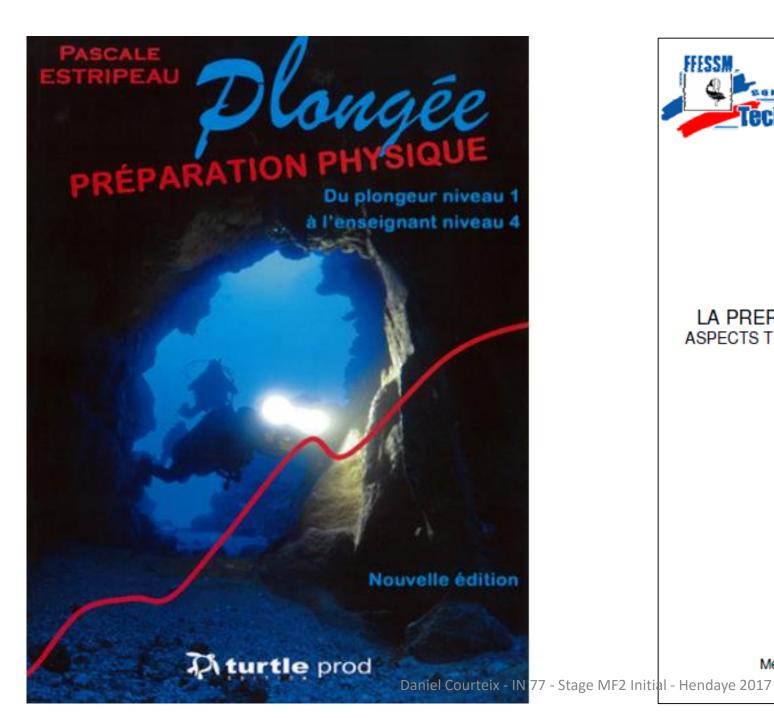
### Texte MFT

Les bases théoriques de l'entraînement physique.

- ✓ L'ATP: réserve d'énergie universelle.
- ✓ Les trois filières de reconstitution de l'ATP.
- ✓ Limitation aux principes généraux à l'exclusion de toute notion de biochimie.
- ✓ Savoir établir le rapport entre un type d'effort en plongée et la filière énergétique utilisée.

### L'amélioration des performances.

- ✓ Les types d'exercices destinés à améliorer les trois filières.
- ✓ Principes généraux de l'établissement d'un programme de préparation physique.
   Possibilité d'établir un programme de séance ou un planning d'entraînement.
- ✓ Notions à relier avec la pédagogie spécifique avec ou sans scaphandre.





Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins Comité Régional Est Commission Technique Régionale

Collège des Instructeurs

LA PREPARATION PHYSIQUE DU PLONGEUR ASPECTS THEORIQUES, PRATIQUES ET PEDAGOGIQUES

> Mémoire présenté par Laurent MARCOUX MF2 N° 1036

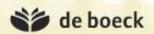


Véronique Billat

### Physiologie & méthodologie de l'entraînement

De la théorie à la pratique









#### LA PHYSIOLOGIE DE L'EXERCICE

Auteurs Bertrand BARON, Université de la Réunion Pr. Patrick PELAYO, Université Lille 2





## Objectifs : savoir programmer un cycle de préparation physique orienté sur la pratique plongée

### **Principes physiologiques**

Connaissance sur les processus énergétiques de l'exerice musculaire

#### **Evaluation / contrôle de l'activité :**

- Force
- Puissance
- Capacité
- Endurance
- Aspects métaboliques / mécanique externe
- Fc,

#### **Programmation**

Analyse de l'activité : modalités (durée, intensité, fréquence, récupération)

Faire améliorer les paramètres de performance

Organiser un cycle : caractéristiques (objectifs, durée, progressivité...)

# ASPECTS BIO-ENERGETIQUES DE L'EXERCICE MUSCULAIRE

## LES VOIES METABOLIQUES UTILISEES LORS DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE (résumé)

Le muscle utilise exclusivement pour sa contraction l'énergie libérée par l'hydrolyse d'une molécule d'adénosine tri-phosphate (ATP).

Elle est présente en très petite quantité dans le muscle (5 mmoles par kg de muscle, soit 100 mmoles pour 20 kg de muscle du train inférieur)

Cette quantité permet la libération de 1 kcal d'énergies mécanique (4.18J) et thermique.

Les réserves musculaires en ATP ne permettraient que de parcourir une distance de 10 mètres à une vitesse de 10 km/h environ. Il existe donc des systèmes de "recharge" énergétique qui ont pour but de restituer l'ATP dégradée au fur et à mesure de son utilisation. Ces processus sont au nombre de trois.

1 . La phosphocréatine (PC) est une molécule présente dans le muscle dont la dégradation intervient dès le début de l'exercice. Ce processus se caractérise par l'instantanéité de sa mise en route, sa faible capacité (réserves musculaires très faibles) et par une puissance très importante. Il est mis en jeu pour des exercices de courte durée (10 s) très intenses.

La phosphocréatine associée à l'ATP musculaire constituent le phosphagène.

2 . La glycolyse anaérobie est l'ensemble des réactions qui permet la transformation du glycogène musculaire en acide pyruvique. Ce processus ne nécessite pas la présence d'oxygène et aboutit à la formation d'acide lactique. Son inertie est de quelques secondes, sa capacité est limitée par l'aptitude qu'a le muscle à supporter des concentrations élevées en lactates et sa puissance est modérée. Ce processus est sollicité particulièrement lors d'exercice intense d'une durée de 1 à 2 minutes.

3 . La voie aérobie conduit à la dégradation du glycogène, des lipides et éventuellement des protides en gaz carbonique et en eau. Ce processus nécessite la présence d'oxygène. Il se caractérise par une grande inertie (2 à 3 minutes pour que la consommation d'oxygène s'adapte au besoin musculaire), une puissance modérée et une capacité énorme permettant des exercices prolongés. Ce processus devient primordial lorsque l'exercice doit être soutenu plusieurs minutes.

Suivant les individus, ces différentes voies métaboliques sont inégalement développées et un entraînement spécifique permet d'accroître les possibilités d'une voie particulière.

Daniel Courteix - IN 77 - Stage MF2 Initial - Hendaye 2017

### On continue ??

### PRINCIPE GENERAL

L'origine de la contraction est liée à la relation actine-myosine dont l'activité repose sur la neuro-transmission à caractère cholinergique.

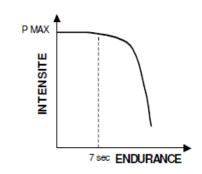
L'origine de l'énergie réside dans la présence de molécules d'adénosine tri-phosphate.

Le rendement musculaire étant d'environ 23 % : on obtient 1 KJ en énergie mécanique et 3,2 KJ en extra chaleur.

### PREMIER MECANISME

il consiste en la dégradation de la créatine phosphate (PC) en réserve dans le muscle (15 à 20 mmoles par kg).

Ce phénomène intervient sans délai dès que la concentration de l'ATP musculaire diminue.



L'utilisation de PC est liée à la consommation de l'ATP musculaire.

Chez un individu, le phosphagène peut libérer 4 à 5 Kcal au maximum (16 à 20 KJ, faible capacité), ceci permettant une dépense d'énergie intense sans inertie (100 Kcal.mn-1).

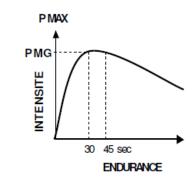
Anaérobie alactique

### DEUXIEME MECANISME

Les deux mécanismes complémentaires de libération d'énergie sont déclenchés au même moment, c'est à dire dès la diminution de la concentration musculaire d'ATP. La glycolyse anaérobie est la dégradation du glycogène (unités glucosyles) en acide pyruvique avec libération d'hydrogène. Il y a 80 à 100 mmoles de glycogène par kg de muscle.

Si l'apport d'oxygène aux muscles est insuffisant ou nul, il y a formation d'acide lactique.

GLYCOGENE ---> ACIDE PYRUVIQUE ----> ACIDE LACTIQUE H+



Il y a reconstitution de **3 ATP**.

Si la réaction part du glucose, il y a reconstitution de **2 ATP** (1 ATP utilisée pour synthèse de glycogène).

L'inertie du système est de 20 senviron pour la tteindre son maximum.

Anaérobie lactique

### TROISIEME MECANISME

En présence d'oxygène, l'acide pyruvique se transforme en Acétyle Co-enzyme A. L'acétyl-CoA est prise en charge au niveau du cycle de KREBS il en résulte la peoduction d'ATP, de  $CO_2$  et de l'eau.

(gain de 39 ATP, 38 si glucose au départ).

- \* Les lipides peuvent intervenir comme substrat (néoglucogenèse). Le bilan est de **138** ATP.
- \* Les protides sont faiblement énergétiques.

### Macronutriments

### Unité de mesure d'énergie consommé : 1 Kcal =4.18 kJ

Valeur énergétique des macronutriments

kcal/g) 37.6 $(kJ/g)$

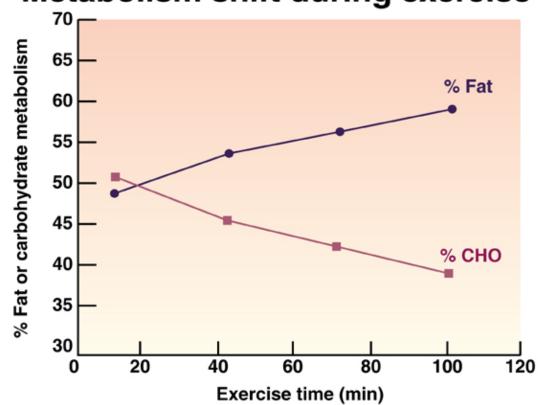
✓ Protéines 4(kcal/g) 16.7 (kJ/g)

 $\checkmark$  Glucides 4(kcal/g) 16.7 (kJ/g)

✓ Alcool 7(kcal/g) 29 (kJ/g)

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display

### Metabolism shift during exercise



### TROISIEME MECANISME

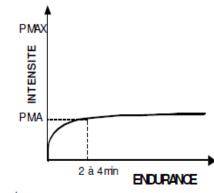
En présence d'oxygène, l'acide pyruvique se transforme en Acétyle Co-enzyme A. L'acétyl-CoA est prise en charge au niveau du cycle de KREBS et l'on obtient de l'ATP, du CO2 et de l'eau.

(gain de 39 ATP, 38 si glucose au départ).

- \* Les lipides peuvent intervenir comme substrat (néoglucogenèse). Le bilan est de 138 ATP.
- \* Les protides sont faiblement énergétiques.

### <u>Caractéristiques du métabolisme aérobie</u>:

\* grande inertie : 1 à 3 min pour atteindre son maximum (selon l'intensité de l'exercice)

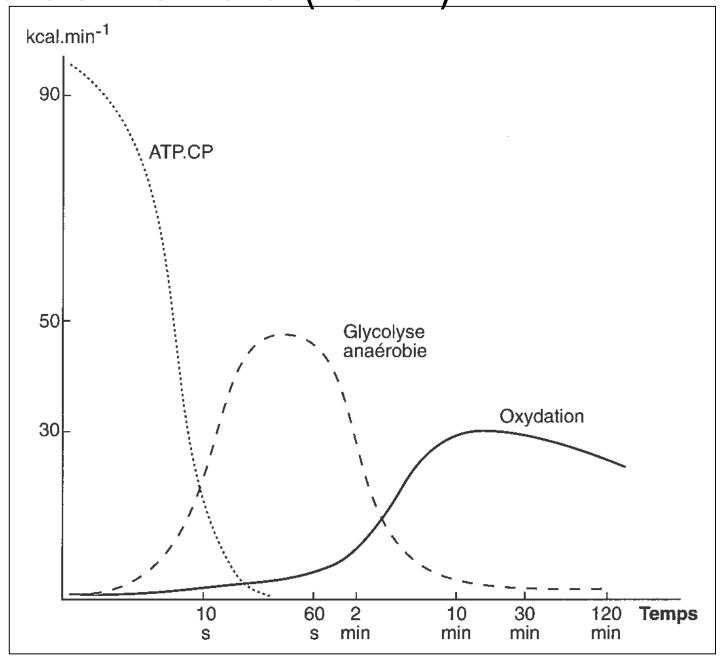


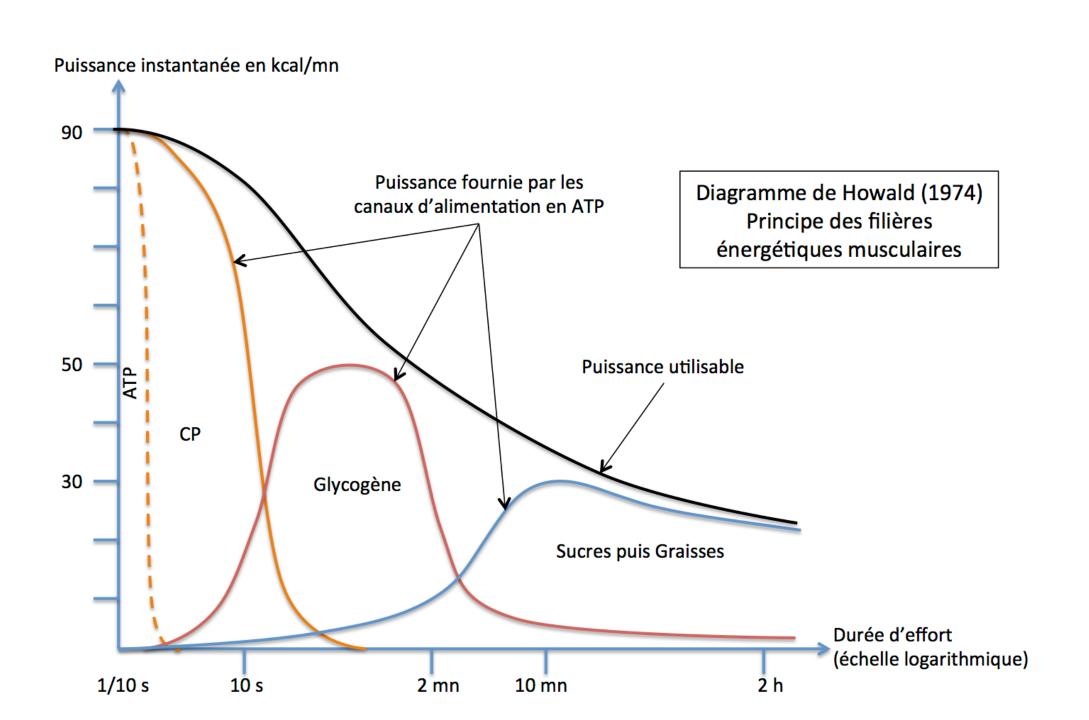
- \* dépense d'énergie d'intensité limitée (liée à la consommation d'oxygène)
- \* capacité très importante

## Caractéristiques des processus

- ✓ <u>inertie</u> : ou rapidité d'entrée en action, délai nécessaire afin que le système entre en jeu d'une manière prépondérante pour assurer l'essentiel de l'apport énergétique
- ✓ <u>puissance</u> : débit d'énergie ou quantité de molécules d'ATP par unité de temps. L'unité de puissance est le Watt (Joule par seconde J/s)
- ✓ <u>capacité</u> ou réserve totale d'énergie disponible : quantité totale de molécules d'ATP produites. L'unité de mesure est le Joule ou, généralement en physiologie, la calorie (1 cal = 4,186 Joules)

Schéma de Howald (1974)





# La notion de substrat ou "fioul" dans les processus énergétiques

En fait l'utilisation d'un substrat va diminuer ses réserves et la récupération doit permettre de les restaurer.

Selon le type d'exercice cela peut varier de quelques minutes à plusieurs jours et le mécanisme passe le plus souvent par 3 phases chronologiques:

- √ rapide (suit l'exo)
- ✓ lente
- ✓ ultra lente

La capacité de travail de l'organisme est réduite pendant la phase de récupération. La faculté de récupération diminue avec l'âge.

## Evaluation / contrôle de l'activité

## Quelques notions

### $\rightarrow$ La force :

La force est le produit de la masse par l'accélération. f s'exprime en newtons (N) selon la formule :

 $f = m (kilogramme) \times a (m/s2)$ 

Le *newton* est donc l'équivalent de la force que communique à un corps d'un kilogramme, une accélération d'un mètre par seconde au carré.

$$1 N = 1 kg \times 1 m/s2$$

### $\rightarrow$ La puissance :

La puissance est définie comme étant le travail accompli par unité de temps. A travail produit égal, l'exercice le plus puissant sera celui qui accomplit ce travail le plus rapidement.

Puissance en watts (W) = Travail (joules), / ta(secondes) aye 2017

 $P = F(N) \times Vit(m.s-1)$ 

## Quelques notions

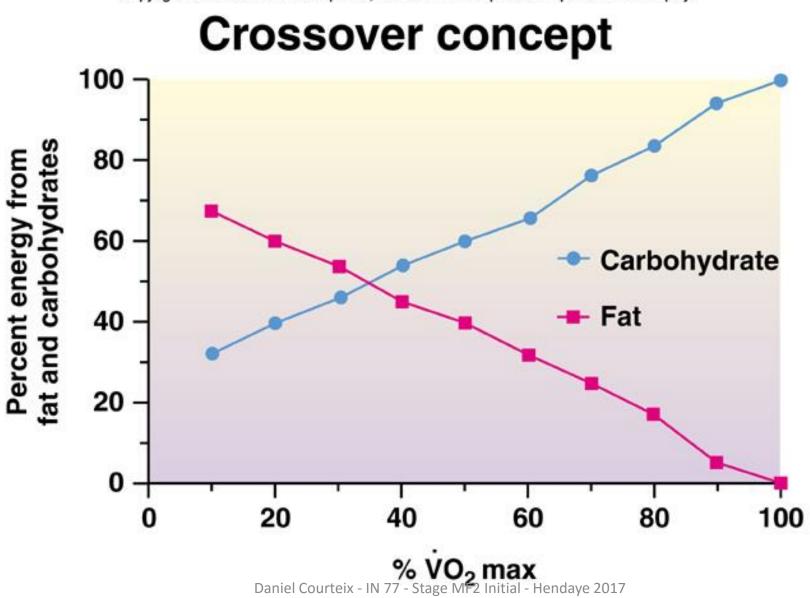
### → La capacité :

Quantité totale d'énergie disponible pour une filière

### → L'endurance :

la capacité de maintenir un effort d'une intensité relative donnée pendant une durée prolongée.

- → Consommation d'oxygène maximale : VO2
- → Puissance métabolique / Puissance mécanique externe Puissance maximale aérobie (PMA)



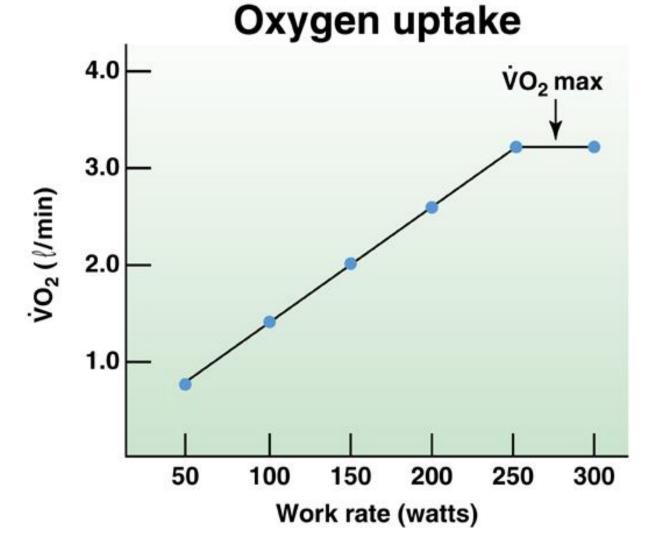
# Comparaison de la puissance et de la capacité des différentes filières

	Filière aérobie	Filière anaérobie lactique	Filière anaérobie alactique		
Puissance	+	++	+++		
Capacité	+++	++	+		

Copyright @The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

• Relations P Met / P mécanique

• Relations P Met / Fc



## Contrôle de l'activité: le fréquence cardiaque

- La fréquence cardiaque de repos : (Fc rep)
- La fréquence cardiaque maximale : (Fc max)

La fréquence cardiaque de réserve : (Fc res)

$$Fc res = Fc max - Fc rep$$

La fréquence cardiaque de travail : (Fc w)

## Facteurs de correction des Fc max. théoriques en fonction de l'âge (Astrand)

AGE	15	25	35	40	45	50	55	60	65
Facteur	1.10	1.00	0.87	0.83	0.78	0.75	0.71	0.68	0.65

Index to adjust the maximal heart rate for age (Astrand)

### L'utilisation de la fréquence cardiaque

- La fréquence cardiaque de repos : (Fc rep)
- La fréquence cardiaque maximale : (Fc max)

La fréquence cardiaque de réserve : (Fc res)

$$Fc res = Fc max - Fc rep$$

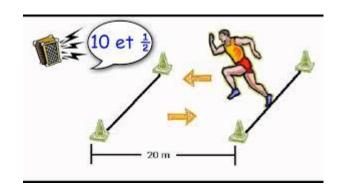
La fréquence cardiaque de travail : (Fc w)

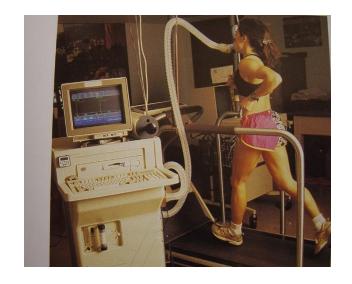
Fc 
$$w = (Fc res x \%) + Fc rep$$

## Exemples de relations

- Evolution VO2 à P cste
- Evolution VO2 à Pincrémentée
- Seuils ventilatoires









## Des tests de determination

Directs (labo)

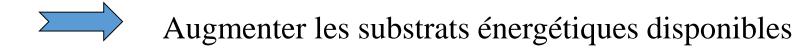
Indirects (terrain): Leger Boucher – Lavoie

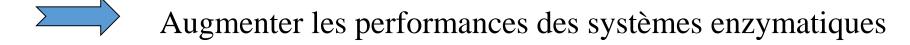


### Determiner PMA

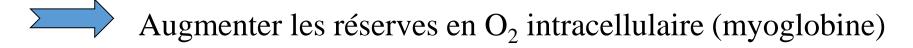
### Principes physiologiques de l'amélioration des performances

Pousser l'organisme vers ses limites c'est le contraindre à s'adapter









Augmenter la résistance aux toxines (lactate) ?!?

Il est donc indispensable de pouvoir identifier les filières de travail

# Quelles filières privilégier dans la pratique ?

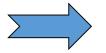
## Filière / Quelle filière pour quel effort ?

Anaérobie alactique Manneguin (N4 et MF2) Anaérobie lactique Tractage lors de la DTH Compétence 1 N1 et N2 **Aérobie** 500m capelé,800m P.M.T (N4) Seuil ventilatoire 2 1000m capelé, 1500m P.M.T (MF2)

## Quelles filières en plongée ?

- Aérobie :
  - Explo
  - PMT par mer calme
- Lactique :
  - PMT par mer agitée
  - Capelé
  - Tractage mannequin
- Alactique :
  - Décollage palme en pleine eau
  - Intervention d'urgence en surface

## Filière aérobie



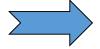
Les objectifs:

Augmenter le VO<sub>2</sub> max (la puissance)

Augmenter le temps de maintien de la puissance maximale

aérobie.

Diminuer le délai de mise en activité



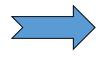
3 types d'exercices : Des efforts continus de faible intensité de longue durée.

Des exercices intermittents de longue durée.

Des exercices intermittents courts

## Filière aérobie

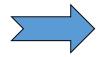
Les efforts de faible intensité et de longue durée



Le travail se situe à une fréquence cardiaque de réserve qui se situe à 60, 70 %

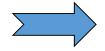


L'effort doit conserver la même intensité pendant tout l'exercice



En continu : ex : 30 minutes de nage avec palmes.

Le style de nage, ne doit pas s'altérer



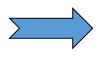
En fractionné :

Même durée totale de l'effort Courtes périodes de récupération

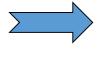
Maintien de la même fréquence cardiaque

## Filière aérobie

Rechercher l'amélioration du VO<sub>2</sub> max : le seuil de la puissance maximale aérobie



Le travail se situe à une fréquence cardiaque de réserve située entre 60 et 90 % selon le niveau d'entraînement

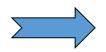


Principe : maintenir une intensité proche du VO<sub>2</sub> max le plus longtemps possible.



Fractionné long : ~80 % de la Fc res

Ex: 4 x 6 min avec 3 min de récupération



Fractionné court : ~80 à 90 % de la Fc res (110 %)

50 x 10 à 15 s. récupération 10 à 15 s

Attention Très efficace mais très dur...

# QUELQUES EXEMPLES DE SOLLICITATION DES FILIERES AU COURS DES EFFORTS EFFECTUES EN PLONGEE

#### **Epreuves de nage en PMT**. (niveau 4 et MF2)

Le palmage représente un effort d'intensité moyenne étalé sur une durée importante, ce qui correspond à la sollicitation de l'endurance de la <u>filière aérobie</u>.

#### **Epreuves de sauvetage à la palme** (niveau 4, MF1 et MF2)

L'impulsion, le décollage et le palmage durant les premiers mètres demandent un effort d'intensité maximale sur une durée très brève, faisant appel à la filière <u>anaérobie alactique</u>. Pour le reste de la remontée et le tractage en surface les efforts sont moins intenses, mais leur durée augmente ; c'est donc la filière <u>anaérobie lactique</u> qui est sollicitée.

#### Epreuves de nage capelée

En raison de leur durée, elle font majoritairement appel à la <u>filière aérobie</u>. Mais comme ces épreuves imposent une charge supplémentaire au nageur (poids du bloc, lestage, résistance à l'avancement de l'équipement) elles entraînent des efforts d'intensité supérieure à la nage en PMT, et sollicitent donc également la <u>puissance maximale aérobie</u>.

# QUELQUES EXEMPLES DE SOLLICITATION DES FILIERES AU COURS DES EFFORTS EFFECTUES EN PLONGEE

Epreuves de mannequin (niveau 4, MF2)

Sur la première partie de l'épreuve, avant l'apnée, la filière aérobie est sollicitée. Sur la deuxième partie, la filière anaérobie est concernée au cours du tractage, qui demande un effort d'intensité supérieure.

Ces éléments d'ordre énergétique apportent une aide certaine à l'élaboration des plans d'entraînement physique. Mais il est cependant illusoire et risqué de vouloir se baser uniquement sur les aspects énergétiques pour réussir un exercice.

En effet, préparation physique et entraînement technique du plongeur sont complémentaires et indissociables, et la qualité du geste technique constitue un pré-requis indispensable. Ainsi, un palmage efficace va réduire considérablement la dépense énergétique au cours des épreuves de nage en PMT et en capelé. De même, le sauvetage à la palme, demande plus de savoir-faire sur le plan technique que de puissance physique 2017

## Faisabilité dans le cadre de l'hyperbarie

Les techniques de surface peuvent être adaptées des techniques utilisées en natation:

- ✓ Estimation de VMA à partir de tests de nage avec palmes
- ✓ Enregistrement des Fc correspondantes
- ✓ Calcul des zones de travail individualisées.

Puis utilisation de ces paramètres pour programmer les modalités de l'entrainement (puissance, durée, fréquence, récupérations)

## Faisabilité dans le cadre de l'hyperbarie

Concernant les techniques en immersion:

Apnée

Techniques de palme / force

Transposable en surface ou « a terre »

# Aspects énergétiques et métaboliques de la récupération

## Les réserves d'oxygène

L'oxygène est nécessaire pour reconstituer l'ATP. O2 est stockée dans le muscle et dans le sang.

#### Réserve musculaire.

Lié à la myoglobine, protéine de transport jusqu'à la mitochondrie.

On considère qu'il y a 11 ml / kg de muscle en réserve, soit pour une personne de 70 kg environ 350 ml d'O2.

La masse musculaire étant supérieure chez l'athlète, cette valeur est plus importante.

Donc réserves faibles mais utiles pour les exos intermittents par ex. (restauration rapide ~15 s)

#### Réserves sanguines.

L'utilisation de ces réserves est évaluée par la différence entre O2 sg veineux au repos et O2 post exercice soit environ 150-30 soit 0.5 l d'O2 pour un volume de 4.5 l de sang.

## Les réserves énergétiques

#### ATP - PC

L'exercice maximal ou supra max conduit à un épuisement des réserves en PC.

Le processus de récupération évolue rapidement puis plus lentement.:

70 % après 30 s, puis 3 min pour récupération complète.

C'est un mécanisme qui nécessite un apport d'O2.

#### Glycogène musculaire

L'exercice entraîne une déplétion importante du glycogène musculaire.

La restauration demande plusieurs jours et dépend:

- du type d'exercice; activité endurante de longue durée et de faible intensité ou activité épuisante de courte durée et d'intensité élevée.
- ✓ du régime glucidique pendant la récupération

Ainsi la resynthèse du glycogène musculaire dépend plus de la prise alimentaire en glucide que de la transformation à partir du lactate

## Les réserves énergétiques

#### Glycogène musculaire

L'exercice entraîne une déplétion importante du glycogène musculaire.

La restauration demande plusieurs jours et dépend:

- ✓ du type d'exercice; activité endurante de longue durée et de faible intensité
  ou activité épuisante de courte durée et d'intensité élevée.
- √ du régime glucidique pendant la récupération

Ainsi la resynthèse du glycogène musculaire dépend plus de la prise alimentaire en glucide que de la transformation à partir du lactate

## Glycogène hépatique

Il a été montré par biopsie que la quantité de glycogène au niveau du foie est considérablement diminuée après un exercice.

Si un repas riche en glucide n'est pas réalisé, le restauration est longue.

Il faut 24 h pour reconstituer le stock de glycogène hépatique si on enrichit le repas et on peut même observer un phénomène de surcompensation.

Une partie du glycogène restauré ne provient pas de l'alimentation mais de produits issu du catabolisme des glucides (lactates, pyruvates), lipides (glycérol) ou protides (acides aminés).

Ceci représente la néoglucogenèse.

## L'acide lactique

L'élimination de l'acide lactique est complexe.

Lactatémie musculaire et sanguine sont étroitement liées, mais il existe un retard dans la diffusion du lactate cellulaire dans le sang.

Le pic de lactate augmente entre 4 et 5 minutes après l'arrêt de l'exercice chez l'adulte, et 3 minutes chez l'enfant.

Puis diminution lente : ½ vie environ 20-25 minutes Il faut 1 h pour un retour aux valeurs de repos.

La durée totale de la récupération dépend des lactates accumulés en fin d'exercice : plus en quantité plus la récupération est longue.

Les muscles caractérisés par des fibres lentes (oxydatives) éliminent le lactate plus vite.

Le mode de récupération intervient aussi.

Daniel Courteix - IN 77 - Stage MF2 Initial - Hendaye 2017

## Aspects hormonaux de la récupération

L'exercice s'accompagne de modifications hormonales liées à l'utilisation des substrats et du contrôle hydroélectrique et acido-basique. Ces modifications varient selon l'intensité et la durée de l'exercice.

- ✓ augmentation de Glucagon : hyperglycémiant, il favorise la glycogénolyse mais aussi la néoglucogenèse.
- ✓ **augmentation des catécholamines** : hyperglycémiant, favorise la glycogénolyse, l'adaptation cardiaque et la lipolyse.
- ✓ diminution de l'insuline : hypoglycémiant : favorise le stockage du glycogène, la pénétration du glucose dans les cellules et la synthèse des lipides.
- ✓ augmentation de T3 et T4 : . hyperglycémiant, favorise la lipolyse.
- ✓ augmentation du cortisol : hyperglycémiant, favorise la lipolyse et la néoglucogenèse.
- ✓ augmentation Gh: favorise la lipolyse.
- ✓ augmentation aldostérone : réabsorption de Na+ et eaux
- ✓ augmentation ADH : rétention d'eau

Lors de la récupération les mécanismes sont complexes et le devenir des hormones à l'arrêt de l'exercice n'est pas très connu.

Daniel Courteix - IN 77 - Stage MF2 Initial - Hendaye 2017

