



# FROID ET PLONGEE



- Dr Hervé FOULT
- Pole Santé Tours Sud
- Colloque des moniteurs
- 2003

# PLAN

- **Introduction**
- Equilibre thermique
- Adaptation au froid
  - Effet du froid
  - Effort au froid
- Conséquences
- Conclusions



# Introduction

- Il existe un lien entre la morphologie des populations et la température locale
- Les dimensions corporelles s'accroissent en passant des climats plus chauds vers les plus froids



# Rapport déperdition calorique et production de chaleur

- La déperdition calorique est proportionnelle à la surface
- La production de chaleur est proportionnelle à la masse
- Les plus gros organismes sont avantagés en raison d'un meilleur rapport surface/masse



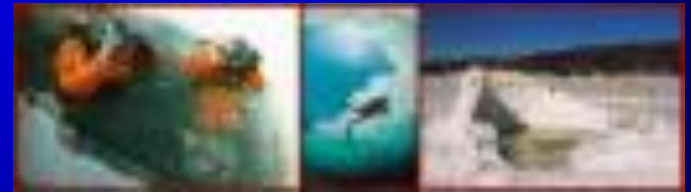
# Résistance au froid

- Elle est donc meilleure chez les gros organismes surtout si comme la baleine, ils se munissent d'une bonne couche de graisse sous cutanée



# Un problème de vêtement

- A la lecture de ces données on penserait volontiers que le rat résiste moins à la chaleur que l'homme.
- Il n'en est rien car il possède une fourrure qui le protège beaucoup plus.
- Cela souligne d'emblée le rôle du vêtement



# PLAN

- Introduction
- **Equilibre thermique**
- Adaptation au froid
  - Effet du froid
  - Effort au froid
- Conséquences
- Conclusions



# Les pertes thermiques

- Pertes cutanées
- Inspiration d'air détendu
  - Rechauffement de l'air
  - Évaporation alvéolaire
- Élimination urinaire





# Air et eau

- Équilibre à 25° dans l'air
- équilibre à 33° dans l'eau
- L'eau conduit la chaleur 25 fois + que l'air
- La capacité calorifique de l'eau est 3431 fois > à celle de l'air
  - Quantité de chaleur requise pour augmenter la température d'un volume d'eau de 1°

# LA TEMPERATURE CENTRALE

- Elle est de 37 ° Celsius et peut varier de 1,5° dans la journée
- L'équilibre de cette température dépend du ratio entre production et perte de chaleur(S)
- **$S = M - W - E + K + C + R$**

# La Régulation: un phénomène efficace

- Les variations normales de température sont de 5° (35° à 40°)
- Les régions habitées de notre planète varie entre -90° C et 58° C
- Notre capacité de survie impose une régulation maintenant notre température entre 25 et 45°

# La thermorégulation

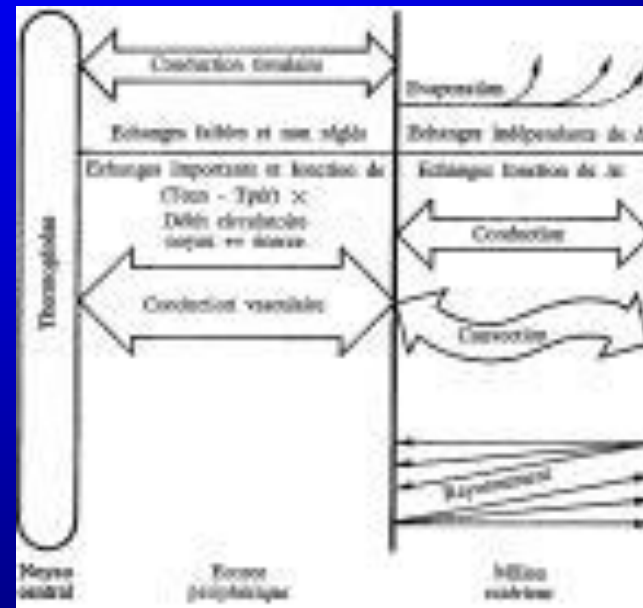
- Entre 35 et 40 ° elle est normale
- Entre 30 et 35 ° elle est détériorée
- 25° et 45° sont les limites de survie

$$S = M - (+/-W) - E +/- K +/- C +/- R$$

- S= chaleur perdue (ou gagnée)
- M = production métabolique de chaleur
- W= travail externe
- E= pertes par évaporation
- K= perte par conduction
- C = perte par convection
- R = perte par radiation

# L'EQUILIBRE THERMIQUE

- La Radiation 60%
- L'évaporation 25%
- La Convection 12%
- La Conduction 3%



# La Radiation Thermique

- C'est le rayonnement thermique
- C'est une énergie émise par le corps seulement en fonction de sa température
- Cette radiation est indépendante de la température et de la présence de l'air

# L'évaporation

- C'est le second responsable de perte calorique
- Elle se produit par la peau et par la respiration
- Elle dépend
  - De la pression de vapeur d'eau
  - De la surface corporelle
  - De la pression de vapeur ambiante
- La pression de vapeur d'eau dépend
  - De la température ambiante
  - Du pourcentage d'humidité



# L'évaporation

- Transpiration : évaporation de l'eau pour éliminer excès de chaleur
- Transpiration imperceptible: but maintenir 70 % d'humidité cutanée
- Respiration: réchauffement de l'air et hydratation , l'air expiré a un taux d'humidité élevé
- Attention à la déshydratation

# La Convection

- C'est le transfert de chaleur entre un corps et un médium environnant en déplacement
  - Air
  - Eau
- Dépend de la surface exposée
- De la différence de température entre corps et médium
- De la vitesse du médium avec un plateau vers 50 km:h

# Convection : quelques chiffres

- Si  $v = 1 \text{ m/s}$  et pour  $1 \text{ m}^2$ 
  - 120 cal /h dans l'air
  - 20 000 cal /h dans l'eau

# La Conduction

- C'est le transfert de chaleur entre deux corps en contact physique
- Dépend de
  - Chaleur spécifique des corps
  - Masse relative des deux corps
  - Résistance thermique entre les surfaces en contact
  - De la différence de température
  - De la surface de contact

# Conduction : quelques chiffres

- Dans l'air perte de 0,02 cal/heure/m<sup>2</sup> de surface/° d'écart
- Dans l'eau perte de 0,5 cal/heure/m<sup>2</sup> de surface/° d'écart

# Comment modifier la conduction

- Par la vasodilatation ou vasoconstriction
  - Élimination de la circulation cutanée
- Par l'importance de la couche de graisse
- Par l'importance de la couche musculaire

# Répartition des Rôles

- Radiation 60 %
- Evaporation 25%
- Convection 12 %
- Conduction 3 %

» C'EST FAUX

# Plongée aux mélanges

- Les pertes thermiques sont multipliées par 6 lorsque le mélange contient de l'hélium.
- Le travail ventilatoire (source de perte de chaleur) est fonction de la densité des gazs

L'air a une densité de 1,23g/l à la surface, et de 7 à 50m

L'héliox (hélium, oxygène) à une densité de 7 à 350 m

L'hydréliox (hydrogène ,hélium, oxygène) à une densité de 11 à 700 m

En plongée à l'air à 50m on est dans les mêmes conditions que les plongeurs à saturation à 350 m avec le froid en plus et la surveillance médicale en moins...



# PLAN

- Introduction
- Equilibre thermique
- **Adaptation au froid**
  - **Effet du froid**
  - Effort au froid
- Conséquences
- Conclusions

# Adaptation au froid

- Il existe 4 grands modèles d'adaptation au froid, traduction d'une grande variabilité!
  - Adaptation métabolique
  - Adaptation isolative
  - Adaptation hypothermique
  - Adaptation hypothermique isolative

# Adaptation métabolique:

- Les inuits et les caucasiens
- augmentation de production de chaleur
- augmentation de température cutanée,
- conservation de la température rectale

# Adaptation isolative

- Plongeuse coréennes et japonaise
- Pas d'augmentation de production de chaleur
- Diminution de la température cutanée
- Maintien de la température rectale

# Adaptation hypothermique

- Sujets acclimaté en chambre froide
- Production de chaleur plus faible
- Diminution de température cutanée
- Diminution de température rectale

# Adaptation hypothermique isolative

- Lapons, aborigène du désert
- Diminution de production de chaleur
- Diminution de température cutanée
- Diminution de température rectale

# Augmenter la production de chaleur

- Apport alimentaire
- Exercice physique
- frisson

# Réaction au froid chez l'européen

- Augmentation de la consommation d'oxygène
  - Avec augmentation de la température musculaire nécessaire à l'augmentation du métabolisme
- Diminution des températures rectales et cutanées
- Le mécanisme d'adaptation hypothermique s'installe rapidement
- Il est mieux tolérés chez les sujets habitués



# Endurance au froid

- Variable d'une personne à l'autre
- Épaisseur du pli cutané élevé lié à température d'apparition du frisson faible
  - Vrai dans l'air et dans l'eau
- Production de chaleur augmente avec la  $VO_2$  max des sujets

# Effets cardio vasculaires

- Vasoconstriction périphérique pour prévenir la perte de chaleur
- Ce mécanisme survient avant l'augmentation de production de chaleur
- Il peut être suffisant

# Expérience simple!

- Immersion d'une main dans l'eau froide (4°)
  - Augmentation de la tension artérielle
  - Augmentation de la fréquence cardiaque
  - Baisse de la température cutanée de la main immergée
    - Et de l'autre !
  - La prolongation de l'expérience montre que la température de la main va fluctuer entre 0 et 5° par réouverture régulière d'anastomose artério veineuse (hunting reflex)

# La douleur

- La sensation de douleur est parallèle à l'augmentation de la TA
- La douleur est liée à la variation de température et non à la température absolue

# Expérience simple 2 !!

- Plongeurs maintenant la face dans l'eau froide
  - Augmentation de la TA un peu plus marquée
  - Mais Ralentissement du rythme cardiaque
  - Douleur plus intense
- On pourrait obtenir le même résultat avec la nuque

# Déductions...

- Les récepteurs du visage et de la nuque déclenchent une bradycardie
- Les récepteurs de la main entraîne une réaction normale de stress
- La bradycardie a été observée de la même façon lors de l'apnée dans le but de diminuer la consommation d'O<sub>2</sub> ?
- Elle est dangereuse chez les insuffisants coronariens car la baisse de FC et l'augmentation de TA entraîne un travail cardiaque important

# Autres modifications

- Modification hormonale:
  - Augmentation du taux de noradrénaline (moins marquée avec l'acclimatation)
  - Augmentation du taux de TSH mais éphémère
  - Augmentation d'ACTH et de cortisol
  - Modification de l'ADH: augmentation de la diurèse
- En fait l'injection de NA entraîne une augmentation du métabolisme de base et provoque une nette amélioration à la tolérance au froid

# PLAN

- Introduction
- Equilibre thermique
- Adaptation au froid
  - Effet du froid
  - **Effort au froid**
- Conséquences
- Conclusions



# Effets métabolique du froid

- Augmentation de la  $VO_2$
- Augmentation de la fréquence respiratoire
- Augmentation de l'utilisation des glucides : x 5,8
- Augmentation de l'utilisation des lipides : x 1,63
- Une bonne réserve de glycogène musculaire permet une meilleure tolérance au froid

# Réaction physiologique et age

- Diminution de la capacité à maintenir stable la température centrale
  - Diminution de la capacité fonctionnelle des glandes sudoripares
  - Diminution de la capacité de vasoconstriction des vaisseaux cutanés
  - Diminution de la réactivité du SN sympathique

# L'Exercice

- La machine humaine est de faible rendement:
  - En cyclisme, par exemple, 20 % d'efficacité mécanique et donc 80 % de production de chaleur parasite
- Ce mécanisme est très efficace, ne vous est il pas déjà arrivé d'ouvrir votre combinaison en rentrant en capelé?
- Mais il est dépendant de votre condition physique pour pouvoir générer de la chaleur assez longtemps

# Problème d'isolation

- Au repos les muscles reçoivent 20 % du débit cardiaque, il constitue 80 % de l'isolation totale
- Le tissu adipeux compte pour 20% de l'isolation totale
- A l'effort les muscles reçoivent 80 % du débit cardiaque, mais leur rôle d'isolant diminue beaucoup...
- La chaleur générée par les muscles est conduite par le sang vers les viscères et le cerveau (conduction)

# Le Frisson

- Tremblement involontaire produit par la contraction simultanée des muscles agonistes et antagonistes en réponse à une diminution de la masse corporelle
- Une diminution de 3° de la température corporelle peut induire le frisson et provoquer une augmentation de 2,5 fois du métabolisme de base
- Pendant l'exercice le rendement du frisson est moindre
- Chez les maigres le frisson peut élever jusqu'à 5 x le métabolisme de base

# Le débit cardiaque

- L'exposition au froid augmente le volume de sang intra thoracique par vasoconstriction périphérique et par pression hydrostatique
- Ce retour veineux est de l'ordre de 700 ml
- Le débit cardiaque augmente de 30 à 40 %
- L'immersion en eau froide augmente la tension artérielle augmentant la post charge, ce qui diminue l'effet de l'augmentation de la précharge
- Lors d'un exercice sous maximal le débit cardiaque augmente de façon similaire en immersion et dans l'air

# La circulation sanguine périphérique

- Le début de l'effort provoque par le sympathique une vasoconstriction généralisée pour réorienter le flux vers les tissus dont le métabolisme est élevé
- Le débit sanguin musculaire augmente jusqu'à 80 %, mais lors de l'exposition au froid la vasoconstriction périphérique réduit le débit sanguin musculaire et un plateau dans la  $VO_2$  locale se produit aux alentours de 70 %

# Les cathécholamines circulantes

- L'augmentation de la TA et de la force de contraction du myocarde dépend essentiellement de l'augmentation de la concentration sanguine de Noradrénaline
- L'adrénaline n'est pas spécifiquement déclenché par le froid et l'immersion



# Metabolisme des lipides

- Exposition au froid et exercice ne provoquent probablement pas une mobilisation des lipides
- La résistance au froid et les performances d'endurance dépendent des glucides
- Il semble que la glycolyse est plus utilisée dans le muscle en raison de sa température plus froide initiale
- Par ailleurs la puissance musculaire dépend de la température du muscle, un muscle froid perd de la puissance

# Facteur diminuant la tolérance au froid

- Age: jeunes et anciens
- Présence de troubles circulatoires
- Blessure entraînant une hypovolémie
- Antécédent de lésion au froid
- Phénomène de Raynaud
- Fatigue
- Alcool ou nicotine
- drogue

# PLAN

- Introduction
- Equilibre thermique
- Adaptation au froid
  - Effet du froid
  - Effort au froid
- **Conséquences**
- Conclusions

# L'hypothermie

- Elle se classe en 3, légère modérée et sévère
- Elle peut aller à la mort
- Coma profond à 27 °
- Arrêt cardiaque à 20 °
- Arrêt du cerveau à 17 °

# Hypothermie légère 37°2 à 35°

- Apparition des frissons
- Sensation de froid
- Perte de dextérité
- Engourdissement des extrémités

# Hypothermie modérée 35° à 33,9°

- Frissons intenses
- Incoordination motrice
- Mouvements lents et pénibles
- Démarche hésitante
- Légère confusion

# Hypothermie modérée 33° 9 à 32° 2

- Frissons intenses
- Difficulté d'élocution
- Pensée lente
- Trébuchements fréquents
- Repli sur soi

# Hypothermie sévère 32°2 à 30°

- Fin des frissons
- Peau bleue ou bouffie
- Incapacité de marcher
- Comportement incohérent mais apparence de vigilance



# Entre 30° et 27°8

- Rigidité musculaire
- Semi conscience
- Baisse du pouls et de la fréquence cardiaque
- Possibilité de fibrillation cardiaque

# En dessous de 27°8

- Inconscience
- Pouls imperceptible
- Oedème pulmonaire
- Insuffisance cardiaque

# QUE FAIRE ?

- Se rendre compte de la situation
- Médicaliser la victime
- Sécher la victime et la mettre a l'abri du vent (évaporation)
- Couvrir de couverture
- Faire boire si conscience convenable
- Evacuer
- Ne pas réchauffer sauvagement mais très graduellement

# Attention à la sortie de l'eau

- Immersion et froid concentre le sang vers le centre
- Le retour veineux est accru par la P hydrostatique
- En dessous de 12° de température tissulaire périphérique perte du tonus vasomoteur
- Déshydratation par augmentation de la diurèse
- Sortir HORIZONTALLEMENT ou au moins s'allonger rapidement à la sortie

# PLAN

- Introduction
- Equilibre thermique
- Adaptation au froid
  - Effet du froid
  - Effort au froid
- Conséquences
- **Conclusions**

# Les risques du FROID

- Nuit à l'exécution de tâches mentales complexes
- Réduit la sensibilité des doigts
- Réduit la dextérité
- Réduit la vigilance mentale par inconfort
- TOUT cela aggrave le risque d'accident et le risque de rupture de pallier

# PREVENTION

- Bonne combinaison
- Alimentation énergétique
- Rappeler le signe « j'ai froid »
- Limiter le temps de plongée
- Stopper au signe j'ai froid immédiatement surtout si palier nécessaire
  - Tr de conscience feront stopper le palier



# REMARQUE

- Adaptation du comportement du guide de palanquée ou de l'encadrant
  - La combinaison sèche vous protège mieux
  - L'appréciation du degré de froid est délicate
  - Repérer les plongeurs à risques
  - Apprécier les situations à risque
  - Tenir compte du froid pour planifier votre plongée



# CONCLUSION

- Les maigres sont moins bien armés
- L'évaporation par la respiration et le réchauffement de l'air sont des causes majeures de déséquilibre
- L'eau consomme beaucoup de calorie
- L'alcool est un faux ami
- Ne négligez pas les signaux du froid
- Soyez entraîné